

Rancang Bangun Instrumentasi Uji Kualitas Beton Berdasarkan Spektrum Akustik Menggunakan Transformasi Fourier

Mujiono, Arif Surtono & Amir Supriyanto

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung
Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung
E-mail: mujiono.anaba91@gmail.com, arif.surtono@fmipa.unila.ac..id

Diterima (27 September), direvisi (15 Oktober 2015)

Abstract. *It has been realized instrumentation of concrete quality testing by acoustic spectrum using fourier transformation. This study used a condenser as the voice-detection sensor with signal amplifier. Data were collected for 28 days with some age differences of the samples 7, 14, 21, 26 and 28 days that theoretically the best concrete quality at the maximum age of the test was 28 days. The concrete sound signal processing was done with the help of software Matlab 7.8. The study used three kinds of samples, namely samples A, B and C, with comparison amounts of cement water varrying 0.78 for sample A, 0.66 for sample B and 0.53 for sample C. Based on the theory of Young's modulus, data generated according to the theory that at the age of 26 samples and 28 days with dominant frequency 2043.52 Hz to sample A, 2033.58 Hz to sample B and 1988.9 Hz to sample C at the age of 26 days. Meanwhile, at the age of 28 days obtained dominant frequency 1950.6 Hz to sample A, 1949.7 Hz to sample B and 1946.46 Hz to sample C. Data in accordance with the theory of Young's modulus were at the age of 26 and 28 days of testing. Contemplating the dominant frequency of the three samples was not far adrift, it is necessary to do further research.*

Keyword. *Condenser, concrete, Young's modulus, Fourier transformation.*

Abstrak. Telah direalisasikan intrumentasi uji kualitas beton berdasarkan spektrum akustik menggunakan transformasi fourier. Penelitian ini menggunakan kondensor sebagai sensor pendeteksi suara beserta penguat sinyal. Pengambilan data dilakukan selama 28 hari dengan perbedaan usia sampel 7, 14, 21, 26 dan 28 hari yang secara teori kualitas beton terbaik berada pada usia maksimal pengujian yaitu 28 hari. Proses pengambilan dan pemrosesan sinyal suara beton dilakukan dengan bantuan *software* Matlab 7.8. Penelitian menggunakan tiga macam sampel yaitu sampel A, B dan sampel C, dengan perbandingan air semen yang berbeda-beda yaitu 0,78 untuk sampel A, 0,66 untuk sampel B dan 0,53 untuk sampel C. Berdasarkan teori modulus young, data yang dihasilkan sesuai teori yaitu pada usia sampel 26 dan 28 hari dengan frekuensi dominan sebesar 2043,52 Hz untuk sampel A, 2033,58 Hz untuk sampel B dan 1988,9 Hz untuk sampel C pada usia 26 hari. Sedangkan pada usia 28 hari diperoleh frekuensi dominan sebesar 1950,6 Hz untuk sampel A, 1949,7 Hz untuk sampel B dan untuk sampel C 1946,46 Hz. Data yang sesuai dengan teori modulus young ada pada usia pengujian 26 dan 28. Melihat frekuensi dominan dari ketiga sampel tidak terpaud jauh maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Kata Kunci. *Kondensor, Beton, modulus Young, Transformasi Fourier.*

PENDAHULUAN

Beton adalah suatu material yang terbentuk dari campuran semen, air, agregat kasar, agregat halus dan bahan tambahan lainnya. Campuran beton telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang pekerjaan konstruksi seperti gedung bertingkat, jembatan, jalan raya, dan lain-lain. seperti di ketahui, beton memiliki beberapa keunggulan diantaranya, beton memiliki daya tahan terhadap suhu tinggi, daya tekan yang cukup baik, tahan terhadap pengkaratan karena kondisi lingkungan serta mudah dalam perawatannya. Beton memiliki beberapa jenis diantaranya adalah beton normal, beton bertulang, beton pratekan dan beton komposit (George, 1993).

Saat ini teknologi beton sudah banyak digunakan dalam pembangunan jalan raya, karena material beton mempunyai beberapa keunggulan teknis jika dibanding dengan material konstruksi lainnya. Selain bahan baku yang mudah diperoleh, beton juga memiliki kuat tekan dan stabilitas volume yang baik. Selain itu, material beton lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan, tidak mudah terbakar, dan lebih tahan terhadap suhu tinggi, sehingga banyak digunakan sebagai pelindung struktur baja pada bangunan gedung (Hidayat, 2009).

Kekuatan beton dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya material penyusunnya, komposisi dari campuran, pengerjaan konstruksi dan perawatan. Di Indonesia, peraturan atau pedoman standar yang mengatur perencanaan dan pelaksanaan bangunan beton telah beberapa kali mengalami perubahan dan pembaharuan. Sejak peraturan beton bertulang PBI 1971, dan diperbarui dengan SK SNI 03-2847-2002 kemudian SNI 2847:2013. Selain itu tata cara perhitungan harga satuan beton untuk konstruksi bangunan gedung dan

perumahan diatur oleh SNI 7394-2008-HSP. Pembuatan standar tersebut tiada lain dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan untuk mengimbangi pesatnya laju perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya yang berhubungan dengan beton atau beton bertulang.

Untuk mengetahui kualitas beton, telah dilakukan beberapa diantaranya Atmaja dan Rosyidi pada tahun 2004 melakukan pengujian menggunakan metode *Spectral Analysis of Surface Wave* (SASW), yang merupakan metode pengujian beton dengan memanfaatkan perambatan gelombang permukaan untuk menilai kecepatan gelombang. Kemudian tahun 2013, Mawardi melakukan sebuah penelitian dengan memanfaatkan gelombang permukaan untuk menguji kualitas beton menggunakan metode *hammer test* dan *load test*. Pada penelitian Mawardi hasil yang diperoleh berupa kondisi fisik beton dengan cacat pada beberapa bagian setelah dilakukan pengujian tanpa melakukan proses komputasi.

Gelombang akustik adalah gelombang yang dirambatkan sebagai gelombang mekanik longitudinal sehingga dapat menjalar dalam medium padat, cair dan gas. Medium gelombang akustik adalah molekul yang membentuk bahan medium mekanik (Sutrisno, 1988). Gelombang akustik merupakan getaran molekul-molekul zat dan saling beradu satu sama lain namun demikian zat tersebut terkoordinasi menghasilkan gelombang serta mentransmisikan energi bahkan tidak pernah terjadi perpindahan partikel (Resnick dan Halliday, 1992). Untuk melakukan pengolahan sinyal agar diperoleh spektrum sinyal digunakan transformasi Fourier.

Transformasi Fourier adalah suatu model transformasi yang mengubah domain spasial atau domain waktu menjadi domain frekuensi. Transformasi

Fourier merupakan suatu proses yang banyak digunakan untuk mengubah domain dari suatu fungsi atau obyek ke dalam domain frekuensi. Transformasi Fourier didefinisikan dengan persamaan sebagai berikut.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt \dots 1)$$

dengan:

$x(t)$ = fungsi atau sinyal dalam domain waktu;

$e^{-i2\pi ft}$ = fungsi kernel;

$X(f)$ = fungsi dalam domain frekuensi dan;

f = frekuensi.

Discrete Fourier Transform (DFT) adalah deretan yang terdefinisi pada kawasan frekuensi-diskrit yang merepresentasikan *Transformasi Fourier* terhadap suatu deretan terhingga (*Finite Duration Sequence*). DFT berperan penting untuk implementasi algoritma suatu varitas pengolahan sinyal, karena efisien untuk komputasi berbagai aplikasi (Pratiwi dkk, 2012). Karena algoritma DFT memerlukan ruang yang cukup banyak, digunakan *Fast Fourier Transform (FFT)*. Berikut ini persamaan DFT sinyal diskrit.

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\omega n} \dots\dots\dots 2)$$

Untuk $x(n)$ berhingga N ($n=0 \dots\dots\dots N-1$), maka:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi fn} \dots\dots\dots 3)$$

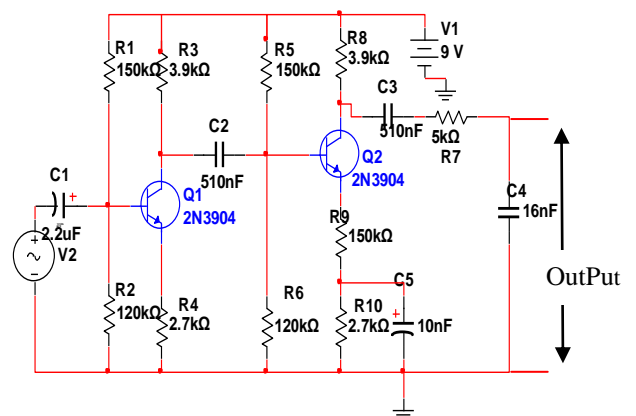
FFT adalah suatu algoritma transformasi Fourier yang dikembangkan dari algoritma *Discrete DFT*. Dengan metode FFT, kecepatan komputasi dari perhitungan transformasi Fourier dapat ditingkatkan. Pada DFT proses komputasi

memerlukan *looping* sehingga banyak memerlukan memori. Dengan menerapkan metode FFT perhitungan DFT dapat dipersingkat dengan cara mereduksi proses *looping* (Schuler, 2003: 477).

METODE PENELITIAN

Pada penelitian digunakan rangkaian penguat suara dengan mikrofon kondensor sebagai sensor pendeteksi suara. Kondensor akan mendeteksi sinyal suara yang berasal dari beton yang dipukul menggunakan palu dan kemudian sinyal kuatkan sebelum sinyal disimpan ke dalam *Personal Computer (PC)*. **Gambar 1** merupakan rangkaian penguat suara.

Penguat suara yang digunakan merupakan penguat basis transistor dua tingkat, rangkaian penguat menggunakan transistor jenis NPN 2N3904. Pada proses perekaman, sinyal yang berasal dari beton akan terdeteksi oleh mikrofon dan kemudian sinyal masuk ke rangkaian penguat tingkat pertama, setelah sinyal dikuatkan selanjutnya sinyal masuk ke penguat tingkat kedua untuk kemudian dikuatkan kembali dan hasil dari rangkaian penguat tingkat kemudian hasil dari penguatan tingkat kedua sinyal disimpan ke dalam *Personal Computer (PC)*.



Gambar 1. Rangkaian penguat suara

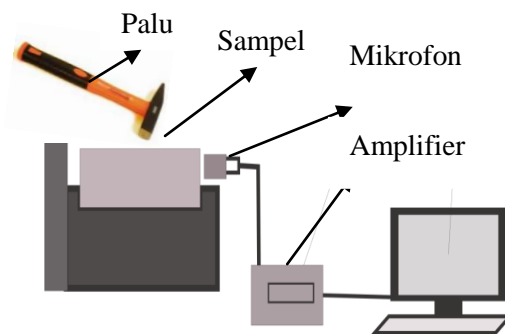
Sampel Beton

Pada penelitian ini digunakan 3 sampel beton dengan 5 benda uji untuk masing-masing sampel. Ketiga sampel memiliki komposisi berbeda berdasarkan perbandingan faktor air semen yang bertujuan untuk mengetahui kualitas dari beton berdasarkan frekuensi dominan yang dihasilkan setiap sampel. Perbandingan Faktor Air Semen (FAS) diambil dari SNI .7394.2008 tetapi dalam penentuan dimensi beton didasarkan pada kebutuhan penelitian. Berikut ini merupakan sampel yang digunakan dalam penelitian. **Tabel 1** merupakan komposisi sampel beton yang digunakan pada penelitian dimana W/C = faktor air semen, PC = *portal cemen*, PB = pasir, KR = krikil (split). Sampel yang digunakan memiliki perbedaan kualitas berdasarkan Faktor Air Semen (FAS). Faktor air semen merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas dari beton, semakin rendah faktor air semen maka akan menghasilkan kualitas beton lebih baik. Beton yang telah dibuat kemudian diuji berdasarkan usia beton, usia yang digunakan untuk pengujian adalah 7, 14, 21 dan 28 hari.

Perbedaan komposisi sampel digunakan untuk mengetahui perbedaan frekuensi dominan yang dihasilkan. Berdasarkan **Tabel 1**, komposisi sampel beton yang memiliki kualitas paling baik berdasarkan faktor air semen ada pada sampel C dan sampel yang memiliki kualitas paling buruk adalah sampel A.

Tabel 1. Komposisi Sampel Beton

Jenis Sampel	Komposisi Sampel Beton				
	W/C	PC (kg)	PB (kg)	KR (kg)	Air (l)
A	0,78	3,1	9,2	11,2	2,4
B	0,66	3,6	8,4	11,4	2,4
C	0,53	4,5	7,6	11,4	2,4



Gambar 2. Metode pengambilan data

Gambar 2 merupakan metode pengambilan data. Palu yang dipukulkan ke permukaan beton menghasilkan suara akan terdeteksi oleh mikrofon, selanjutnya sinyal dikuatkan oleh penguat suara dan kemudian sinyal disimpan ke dalam *Personal Computer (PC)* dalam bentuk *.wav*. Dengan menggunakan matlab, data tersebut diolah untuk menghasilkan grafik hubungan frekuensi dominan dengan usia sampel. Palu yang digunakan memiliki berat 345 gram dengan panjang pemukul 29,5cm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah direalisasikan instrumentasi uji kualitas beton berdasarkan spektrum akustik menggunakan transformasi Fourier. Ada dua tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu tahapan pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak hingga hasil pengambilan data. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan dalam penelitian yang telah dilakukan.

Karakteristik Penguat Suara

Pada bagian penguat suara, dirancang sistem penguat suara menggunakan rangkaian penguat transistor bias pembagi tegangan dua tingkat dengan mikrofon kondensator sebagai sensor pendeteksi

suara. Untuk mengetahui respon rangkaian penguat suara beserta besar penguatannya maka dilakukan karakterisasi dengan cara memberikan masukan yang berupa sinyal dari *signal genertor* yang dihubungkan dengan speaker yang memiliki impedansi sebesar 8 ohm yang selanjutnya menghubungkan bagian output rangkaian ke *oscilloscope*. Sinyal yang diberikan memiliki range frekuensi 100-10000 Hz dan diperoleh hasil karakterisasi seperti ditunjukkan pada **Tabel 2**.

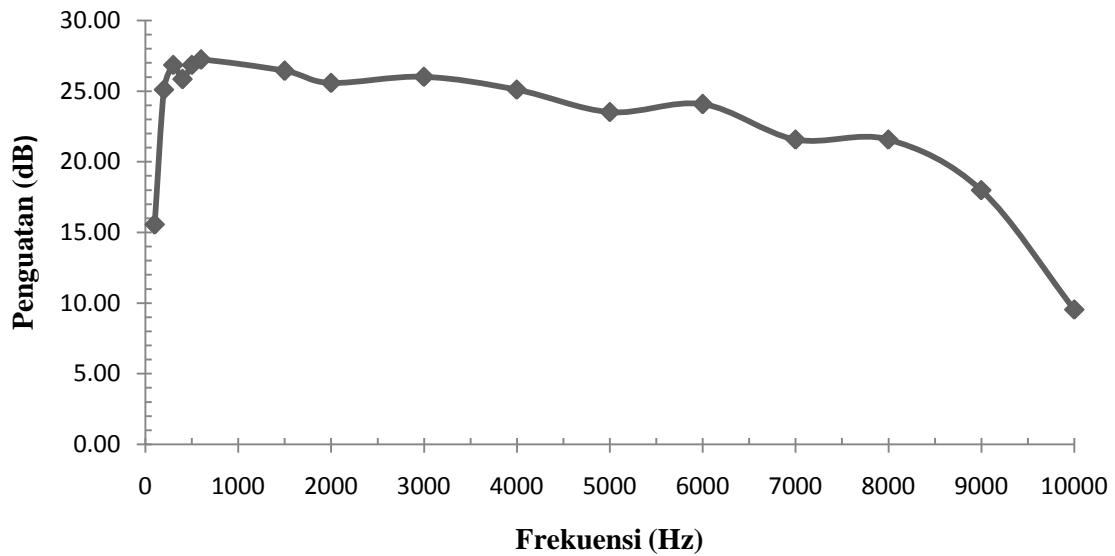
Berdasarkan data pengujian penguat suara pada **Tabel 2**, dibuat grafik hubungan frekuensi masukan (Hz) dengan penguatan (dB) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Penguat suara

yang dibuat dilengkapi dengan filter analog *lowpass filter* dengan frekuensi *cut off* sebesar 8000 Hz, frekuensi *cut off* digunakan untuk menghindari noise yang memiliki frekuensi diatas 8000 Hz yang akan mempengaruhi data penelitian. **Gambar 3** merupakan hasil karakterisasi penguat suara, pada gambar terlihat bahwa dihasilkan penguatan diatas 20 dB pada frekuensi 200-8000 Hz dan mengalami pelemahan pada frekuensi diatas 8000 Hz. Besarnya penguatan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$G(dB) = 20 \times \log \frac{V_{out}}{V_{in}} \dots\dots\dots 4)$$

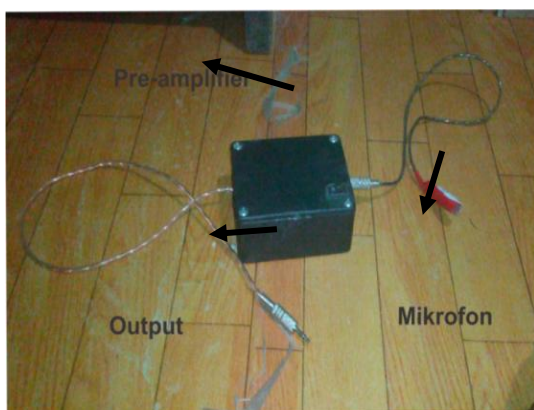
Tabel 2. Karakterisasi penguat suara

Frekuensi (Hz)	Tegangan Input (mV)	Tegangan Output (mV)	Penguatan	Penguatan (dB)
100	100	600	6,00	15,56
200	100	1800	18,00	25,11
300	100	2200	22,00	26,85
400	100	1900	19,00	25,58
500	100	2200	22,00	26,85
1000	100	2300	23,00	27,23
1500	100	2100	21,00	26,44
2000	100	1900	19,00	25,58
3000	100	2000	20,00	26,02
4000	100	1800	18,00	25,11
5000	100	1500	15,00	23,52
6000	100	1600	16,00	24,08
7000	100	1200	12,00	21,58
8000	100	1200	12,00	21,58
9000	100	800	8,00	18,06
10000	100	300	3,00	9,54



Gambar 3. Grafik hubungan frekuensi (Hz) dengan penguatan (dB)

Perangkat keras yang dibuat merupakan perangkat untuk mendeteksi sinyal suara. Dalam pembuatan perangkat keras digunakan mikrofon kondensor sebagai sensor pendeteksi sinyal suara yang selanjutnya sinyal dikuatkan menggunakan *pre-amplifier*, kemudian sinyal suara direkam dan disimpan pada *Personal Computer (PC)* melalui jalur *sound card*. Gambar 4 merupakan perangkat keras yang telah dibuat.



Gambar 4. Penguat Suara

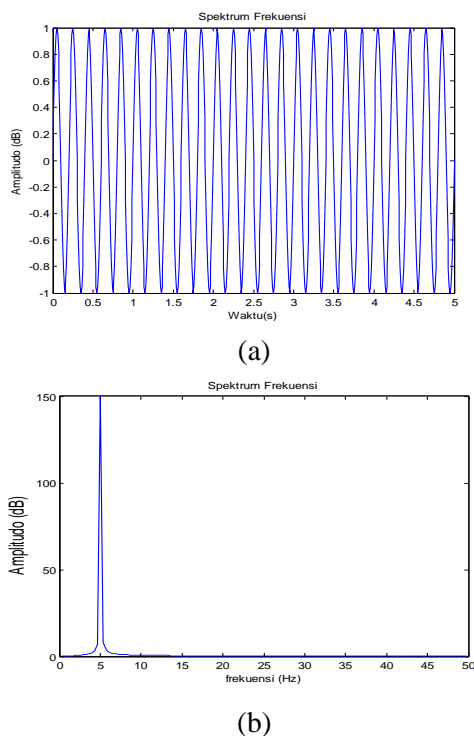
Pengujian Program FFT

Pengolahan sinyal suara yang merambat pada medium beton dilakukan melalui beberapa tahapan diantaranya tahapan perekaman dan analisis menggunakan GUI Matlab. Tahap perekaman dilakukan berdasarkan usia sampel betonyaitu pada usia 7, 14, 21, 26 dan 28 hari yang kemudian hasil perekaman disimpan ke *Personal Computer (PC)* untuk selanjutnya diolah.

Frekuensi dominan dihasilkan menggunakan *FFT*. Dengan menggunakan *FFT* data hasil rekaman yang berupa sinyal dalam domain waktu akan ditransformasikan menjadi sinyal dalam domain frekuensi sehingga dari proses ini akan dihasilkan spektrum gelombang yang menghasilkan frekuensi dominan dari sinyal. Selain menggunakan *FFT*, pada proses pengolahan data digunakan *filter Savitzky Golay* yang berguna untuk menghilangkan *noise random* pada spektrum yang dihasilkan dari proses *FFT*. Sebelum mengolah dilakukan pengujian program untuk mengetahui kerja dari program yang digunakan. Gambar 5 adalah pengujian

program FFT menggunakan sinyal buatan dengan frekuensi 5 Hz.

Gambar 5 (a) merupakan gelombang sinusoida buatan dengan frekuensi 5 Hz dan (b) adalah spektrum hasil FFT dari sinyal sinusoida buatan. Berdasarkan **Gambar 5** frekuensi yang dihasilkan dari proses FFT sama dengan frekuensi gelombang sinusoida buatan yaitu sebesar 5 Hz, sehingga dari hasil ini program FFT yang digunakan sudah bekerja dengan baik.



Gambar 5. Pengujian program FFT

Data Hasil Penelitian

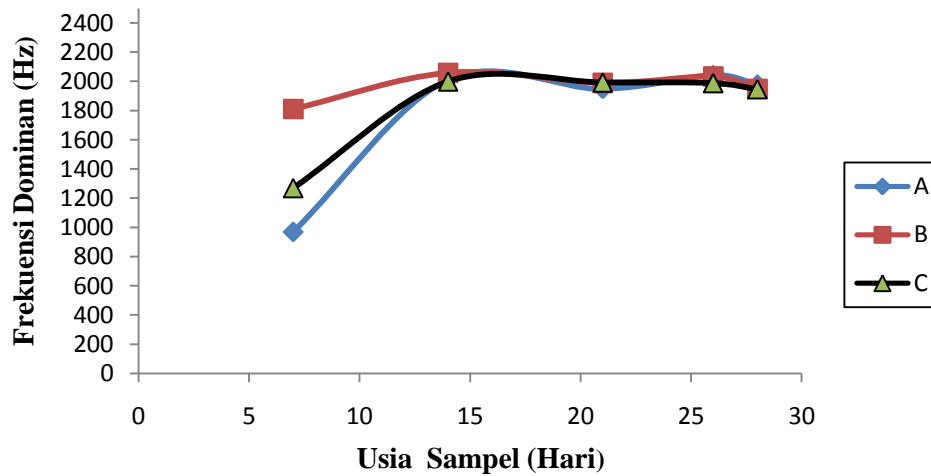
Dari penelitian yang telah dilakukan, dihasilkan frekuensi dominan dari setiap sampel beton. Dari data yang berupa sinyal dihasilkan frekuensi dominan dari hasil FFT, pengolahan sinyal menggunakan FFT akan mengubah sinyal hasil rekaman dari domain waktu kedalam domain frekuensi kemudian hasil akhir dari proses FFT adalah spektrum sinyal yang memiliki frekuensi dominan didalamnya. **Tabel 3** merupakan data hasil penelitian untuk sampel A, B dan C.

Dari data pada **Tabel 3**, diketahui spektrum dominan yang dihasilkan mengalami perubahan yang tidak teratur untuk masing-masing sampel sehingga akan mempersulit ketika melakukan analisis dalam membandingkan kualitas antar sampel. Berdasarkan data pada **Tabel 3**, dibuat grafik hubungan frekuensi dominan (Hz) dengan usia (Hari) sampel yang ditunjukkan pada **Gambar 6**.

Berdasarkan **Gambar 6**, dilakukan analisis data berdasarkan frekuensi dominan masing-masing sampel dan kemudian data frekuensi dibandingkan antara sampel A, B dan C berdasarkan usia sampel untuk mengetahui perbedaan nilai frekuensi yang dihasilkan sehingga akan diketahui kualitas masing-masing sampel.

Tabel 3. Data hasil penelitian

SAMPSEL	USIA SAMPSEL				
	7	14	21	26	28
A	968,94	2012,32	1948,4	2043,52	1976,86
B	1811,32	2058,98	1989,66	2033,58	1949,74
C	1269,98	2000,26	1992,66	1988,92	1947,14



Gambar 6. Grafik hubungan frekuensi dominan (Hz) dengan usia sampel (Hari)

Gambar 6 menunjukkan frekuensi dominan yang dihasilkan masing-masing sampel mengalami perubahan yang tidak teratur pada setiap sampel, pada usia 7, 14 dan 21 hari frekuensi dominan yang dihasilkan untuk sampel A, B dan C masing-masing adalah 968,9 Hz, 2012,3 Hz dan 1948,4 Hz untuk sampel A, 1811,3 Hz, 2058,9 Hz dan 1989,6 Hz untuk sampel B, 1269,9 Hz, 2000,2 Hz dan 1992,6 Hz untuk sampel C. Dari data tersebut maka nilai frekuensi yang dihasilkan belum bisa dijadikan sebagai dasar dalam menentukan kualitas beton, berdasarkan teori yang ada semakin lama usia beton maka kualitas beton akan semakin baik karena materi penyusun beton semakin padat. Menurut teori modulus Young, besarnya frekuensi berbanding terbalik dengan nilai akar dari masa jenis benda padat sehingga semakin baik kualitas dari benda padat, maka frekuensi yang dihasilkan semakin kecil.

Melihat kondisi alat uji yang sudah dapat bekerja cukup baik seharusnya data penelitian yang dihasilkan memiliki nilai perubahan yang teratur untuk nilai frekuensi dari setiap sampel, pada data penelitian frekuensi benda uji yang menghasilkan data cukup baik dari semua

data adalah data pada usia pengujian 26 dan 28 hari. Pada usia pengujian 26 dan 28 hari dihasilkan frekuensi dominan masing-masing sebesar 2043,5 Hz dan 1976,8 Hz untuk sampel A, 2033,5 dan 1949,7 Hz untuk sampel B, untuk sampel C frekuensi yang dihasilkan adalah 1988,9 Hz dan 1947,1 Hz. Dari data yang dihasilkan pada usia 26 dan 28 hari, frekuensi dominan yang dihasilkan menunjukkan perubahan frekuensi yang cukup teratur sehingga dari data ini dapat kita bandingkan frekuensi dominan yang dihasilkan untuk sampel A, B dan sampel C. Dari ketiga sampel frekuensi dominan sampel C memiliki nilai paling kecil dibandingkan frekuensi dominan sampel B dan A, dan frekuensi dominan sampel A memiliki frekuensi dominan paling besar.

Pada penelitian sampel yang memiliki kualitas terbaik berdasarkan perbandingan faktor air semen adalah sampel C dan sampel yang memiliki kualitas terburuk adalah sampel B. Berdasarkan data usia 26 dan 28 hari, frekuensi dominan yang dihasilkan sudah menunjukkan kualitas dari sampel tetapi data ini belum bisa dijadikan data pembandingan untuk uji kualitas beton

karena data yang dihasilkan memiliki selisih yang cukup kecil untuk setiap sampel sehingga memungkinkan masih terdapat kesalahan pada data.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa alat uji kualitas beton berdasarkan spektrum akustik dapat bekerja dengan baik karena dapat menampilkan spektrum akustik dari sinyal hasil rekaman. Data penelitian terbaik yang sesuai dengan teori modulus young diperoleh pada usia pengujian 26 dan 28 hari dimana frekuensi dominan pada sampel dengan faktor air semen terkecil menghasilkan frekuensi dominan terkecil. Berdasarkan data yang dihasilkan nilai frekuensi belum bisa dijadikan sebagai data pembanding uji kualitas beton karena nilai yang dihasilkan memiliki selisih yang sangat dekat antar sampel sehingga memungkinkan adanya kesalahan dalam data. Untuk kesempurnaan penelitian selanjutnya maka disarankan menggunakan jumlah benda uji lebih banyak agar menghasilkan data lebih variatif, menggunakan alat-alat yang sudah standar dalam pembuatan sampel beton agar meminimalisir kesalahan, dalam proses perekaman menggunakan lebih dari satu posisi mikrofon, hal ini bertujuan agar dapat diketahui posisi terbaik dalam perekaman.

DAFTAR PUSTAKA

Atmaja dan Rosyidi. 2004. *Modul Prosedur Pengukuran lapangan*

Metode Spektral Analysis of Surface Wave (SASW). Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.

Winter, George. 1993. *Perencanaan Struiktur Beton Bertulang.* Penerbit PT.Pradnya Paramita. PT. Pradnya Paramita.Jakarta.

Hidayat, S. 2009. *Jenis Semen dan Aplikasinya.* Jakarta, P.T. Kawan Pustaka.

Mawardi. 2003. *Pengujian Struktur Beton dengan Metode Hummer test dan Load test.* Universitas Sumatra Utara. Sumatra Utara.

Pratiwi dkk. 2012. *Analisis Perbandingan Kerja Metode FFT dan DCT Untuk Kompresi Citra Pada Aplikasi Kompresi Data.* STMIK GI MDP. Palembang.

Resnick R., dan David Halliday, 1992. *Fisika.* Penerjemah Pantur Silaban dan Erwin Sucipto. Jakarta: Penerbit Erlangga, hlm 656-693.

Schuler, A. Charles. 2003. *Electronics: Principles and Applications.* Singapore: Mc Graw Hill. Hlm. 477.

Sutrisno. 1988. *Gelombang Dan Optik Seri Fisika Dasar Jilid 2.* Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Mujiono dkk : Rancang Bangun Instrumentasi Uji Kualitas Beton Berdasarkan Spektrum Akustik
Menggunakan Transformasi Fourier