

TINJAUAN SIFAT-SIFAT MEKANIK BETON ALIR MUTU TINGGI DENGAN SILIKA FUME SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN

Surya Sebayang¹

Abstract

Flowing concrete flow under its own weight and maintain homogeneity while filling and passing around congested reinforcement. Flowing concrete is used to reduce or eliminate the need for vibration to reduce construction cost and reducing construction time. High strength flowing concrete in this research used silica fume as additive material in flowing concrete. The properties investigated are workability, concrete setting time, and compression strength. Proportion of material for concrete determined according to ACI 211-4R-1993 and combine with Hashimoto method. The addition of silica fume to the concrete are 0 %, 3%, 6%, 9%, 12% and 15% of the cement content. The test result indicated that effect of silica fume in fresh concrete was reduced the workability of the concrete. Addition of silica fume was made fresh concrete enough cohesiveness without causing segregation. Addition of silica fume was increased the initial and final setting time. The cylinder compression strength of silica fume flowing concrete at 7day, 14 days, and 28 day was higher than compression strength of flowing concrete without silica fume at the same days. The optimum strength of silica fume flowing concrete was 51,35 MPa at 56 days age, in 9 % presence of silica fume.

Keywords: High strength flowing concrete, compression strength, silica fume, setting time, workability

Abstrak

Beton alir dapat mengalir dan menghasilkan adukan yang homogen ketika mengisi daerah penulangan yang padat. Beton alir digunakan untuk mengurangi bahkan meniadakan kebutuhan pemadatan, mengurangi biaya konstruksi, dan mempercepat waktu konstruksi. Beton alir mutu tinggi pada penelitian ini menggunakan silika fume sebagai bahan tambahan. Pengujian yang dilakukan meliputi kelecakan adukan beton, waktu pengikatan beton, dan kuat tekan beton. Perancangan campuran beton menggunakan metode ACI 211-4R-1993 yang dikombinasikan dengan metode Hashimoto. Adukan beton terdiri dari 5 variasi, yaitu kadar silika fume 0 %, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15%. Dari hasil penelitian diperoleh, secara umum semakin besar kadar silika fume pada adukan beton maka kelecakan beton semakin berkurang. Penggunaan silika fume ternyata dapat membuat adukan menjadi kohesif dan tidak terjadi segregasi pada adukan beton. Penggunaan silika fume pada adukan beton memperlambat waktu pengikatan awal dan pengikatan akhir beton. Kuat tekan beton alir bersilika fume pada umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan beton tanpa silika fume dengan umur yang sama. Kuat tekan optimum beton bersilika fume sebesar 51,35 MPa, pada umur 56 hari diperoleh pada kadar silika fume 9 % sebagai bahan tambahan.

Kata kunci: beton alir mutu tinggi, kuat tekan, silika fume, waktu pengikatan, kelecakan.

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No 1 Gedong Meneng, Bandar Lampung
Email : surya_sebayang@yahoo.com

1. PENDAHULUAN

Beton alir adalah beton dengan nilai slump lebih dari 19 cm (ASTM C 1017). Definisi beton mutu tinggi selalu dikaitkan dengan batasan kuat tekan minimum yang dapat dicapai yang biasanya bervariasi. Beton mutu tinggi didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kekuatan tekan minimum 6000 psi atau sekitar 41 MPa (Ronald, 1976).

Beton alir pertama kali dikembangkan di Jepang sebagai sarana untuk membuat keseragaman kualitas beton dengan mengontrol permasalahan dari kurangnya pemadatan beton oleh tenaga kerja dan meningkatnya kompleksitas dari disain penulangan pada struktur beton modern. Beton alir dapat mengalir tanpa pemadatan (*self compacted*) dan menghasilkan adukan yang homogen ketika mengisi daerah penulangan yang padat.

Beton alir digunakan untuk mengurangi biaya pemadatan dan mempercepat waktu konstruksi. Beberapa keuntungan penggunaan beton alir untuk industri beton prategang antara lain: mengurangi kebisingan pada lokasi konstruksi, tanpa getaran, mengurangi jumlah tenaga kerja, dan pelaksanaan konstruksi lebih cepat.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk membuat beton mutu tinggi dengan adukan yang mudah dibentuk dan dikerjakan, serta mempunyai faktor air semen yang rendah sehingga kuat tekan beton menjadi tinggi. Faktor air semen yang rendah menyebabkan adukan beton menjadi kaku sehingga sulit dibentuk dan dikerjakan (*workability* rendah). Salah satu cara untuk meningkatkan *workability* adalah menambah bahan tambahan pada adukan beton berupa HRWR (*High Range Water Reducer*).

Silika fume adalah material pozzolan yang sangat halus yang sebahagian besar terdiri dari unsur silika, yang dihasilkan dari tanur tinggi sebagai produk sampingan industri metal silikon (ASTM C 1240-93).

Silika fume berwarna abu-abu, diameter butiran rata-rata 0,1 μm , dengan specific surface 20000 m^2/kg , seperseratus kali lebih halus daripada semen, berat jenis silika fume 2,2 dan berat volumenya sebesar 200-300 kg/m^3 (Burge, 1988). Silika fume mengandung senyawa silikat yang sangat tinggi yaitu sekitar 93 % (Ryan, 1992), senyawa silikat minimum pada silika fume sebesar 85 % (ASTM C 1240-93)

Adukan beton yang mengandung silika fume akan membutuhkan air yang lebih banyak, diatas 5 persen daripada beton tanpa silika fume, adukan beton lebih kohesif, sehingga tidak menimbulkan segregasi dan secara signifikan mengurangi terjadinya *bleeding* (ACI Committee 234)

Kuat tekan beton yang mengandung silika fume pada umur 3 sampai 28 hari lebih besar daripada kuat tekan beton tanpa silika fume, kontribusi silika fume terhadap kuat tekan beton diatas umur 28 hari relatif kecil (ACI Committee 234).

Silika fume yang secara fisik lebih halus dari pada semen dan secara kimia mengandung unsur SiO_2 yang tinggi, akan dapat menambah kekuatan beton apabila digunakan sebagai bahan tambahan pada beton. Pemikiran ini sangat beralasan karena secara mekanik silika fume akan mengisi rongga antara butiran semen dan secara kimiawi akan memberikan sifat hidrolik pada kapur mati yang dihasilkan dari proses hidrasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik silika fume sebagai bahan tambahan semen pada beton alir mutu tinggi terhadap kelecakan adukan (ASTM C 143), waktu pengikatan (ASTM C 403), dan kuat tekan beton (ASTM C 39)

2. METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland tipe I, agregat halus (pasir) asal Gunung Sugih Lampung Tengah, agregat kasar (batu pecah) dengan diameter maksimum 20 mm asal Tanjung Lampung Selatan. Air dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Unila. Silika fume yang digunakan berasal dari P.T. Sika Nusa Pratama. HRWR, yang digunakan adalah *Viscocrete-10* dengan dosis pemakaian 0,8 % terhadap berat semen.

Alat-alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah: *concrete mixer* kapasitas 40 liter digerakkan dengan kecepatan 20 putaran per menit, cetakan benda uji silinder dari baja dengan diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Kerucut Abram untuk mengukur kelecakan adukan beton, *Compression Testing Machine* kapasitas 100 ton, untuk mengukur kuat tekan beton, dan *penetration resistance* untuk mengukur waktu pengikatan beton. Perancangan campuran beton menggunakan metode ACI 211-4R-93 yang dikombinasi dengan metode Hashimoto, dengan ketentuan kuat tekan rencana > 40 MPa, nilai slump rencana > 190 mm, ukuran agregat maksimum sebesar 20 mm. Silika fume yang digunakan sebagai bahan tambahan sebesar 0%, 3 %, 6 %, 9 %, 12 %, dan 15% dari berat semen.

Jumlah benda uji pada masing-masing umur dari masing-masing kadar silika fume adalah 4 buah. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari seperti pada terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Benda Uji pada Pengujian Kuat Tekan

Kadar Silika fume (%)	Jumlah Sampel	Jumlah benda Uji pada Umur			
		7 hari	14 hari	28 hari	56 hari
0	16	4	4	4	4
3	16	4	4	4	4
6	16	4	4	4	4
9	16	4	4	4	4
12	16	4	4	4	4
15	16	4	4	4	4
Total	96	24	24	24	24

Pengukuran kelecakan adukan beton digunakan dengan slump test. Sedangkan pemadatan beton pada cetakan dilakukan dengan memukul perlahan dinding cetakan dengan palu karet. Untuk pengujian waktu pengikatan maka dilakukan pemisahan mortar dari adukan beton dengan menggunakan saringan 4,75 mm, memasukkan mortar kedalam benda uji kubus sisi 150 mm selanjutnya dilakukan pengujian waktu pengikatan sesuai dengan ASTM C 403.

Benda uji yang telah dibuka dari cetakan, kemudian dirawat dengan cara perendaman. Sebelum benda uji diuji kuat tekannya, maka benda uji *dicapping* terlebih dahulu dengan menggunakan belerang. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan *Compression Testing Machine* dengan kecepatan pembebanan 0,14-0,34 MPa per detik sesuai dengan ASTM C39.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian di laboratorium meliputi pengujian material agregat, kelecakan adukan beton, waktu pengikatan beton, dan kuat tekan beton, hasilnya disajikan dalam bentuk tabel dan kurva.

3.1. Pengujian Agregat

Hasil pengujian material agregat halus maupun agregat kasar tersaji pada Tabel 2. Hasil ini diperlukan pada perhitungan perancangan campuran beton. Hasil berat jenis dan berat volume pada Tabel 2 adalah pada kondisi kering sesuai dengan ketentuan perancangan campuran beton metode ACI 211-4R-93

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil	
		Agregat Kasar	Agregat Halus
1	Gradasi Agregat (Analisis Saringan)	Baik	Baik
2	Modulus kehalusan	6,6	2,64
3	Berat jenis kering	2,53	2,44
4	Berat volume padat kering	1553 kg/m ³	1335 kg/m ³
5	Penyerapan	3,0 %	0,4 %
6	Kadar Lumpur	-	2,2 %
7	Kadar Bahan Organik	-	No.2 (baik)

Dari pengujian agregat kasar dan agregat halus, pada Tabel 2 maka hasil yang diperoleh memenuhi persyaratan standar ASTM

Berdasarkan hasil pengujian agregat kasar dan agregat halus maka dilakukan perhitungan perancangan campuran beton, kemudian dilakukan trial mix untuk mengetahui pencapaian slump rencana yaitu lebih dari 190 mm, adukan yang ada sudah kohesif, dan kuat tekan pada umur 7 hari sudah tercapai apabila dikonversi pada umur 28 hari. Setelah dilakukan trial mix sebanyak 5 kali maka diperoleh perbandingan berat semen : pasir : agregat kasar adalah 1: 1,2848 : 1,3606 dan rasio antara air terhadap semen sebesar 0,39. Kebutuhan bahan dalam 1 m³ beton dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kebutuhan Bahan untuk 1 M³ Beton

Silika fume (%)	Semen (kg)	Air (kg)	Batu Pecah (kg)	Pasir (kg)	Silika Fume (kg)	Viscocrete (kg)
0	541,824	211,311	737,206	696,136	0,000	4,334
3	537,808	209,745	731,741	690,976	16,134	4,302
6	533,846	208,199	726,351	685,885	32,031	4,270
9	529,969	206,688	721,077	680,905	47,697	4,239
12	526,119	205,186	715,838	675,958	63,134	4,208
15	522,931	203,711	710,688	671,095	78,350	4,178

3.2. Kelecakan

Pengukuran kelecakan adukan beton dilakukan dengan slump test. Selanjutnya hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.

Slump yang terjadi pada semua kadar silika fume adalah *collapse slump* (Neville, 1987) dengan nilai *slump* >190 mm, kecuali pada kadar silika fume 15 %. Masing-masing adukan terlihat kohesive, tidak terjadi segregasi. Semakin besar persentase kadar silika fume yang ditambahkan pada adukan beton maka kelecakan adukan akan berkurang. Hal ini terjadi karena butiran silika fume sangat halus sehingga memerlukan air yang lebih banyak untuk membasahi permukaan butiran silika fume, yang pada akhirnya akan mengurangi kelecakan beton pada kadar silika fume yang lebih tinggi. Berbeda dengan kelecakan beton abu terbang dengan butiran berbentuk bulat dan permukaan butirannya halus, sehingga friksi yang terjadi pada adukan semakin kecil (Ryan, 1992).

Tabel 4. Nilai Slump Adukan Beton

Kadar Silika fume (%)	Slump (mm)
0	290
3	260
6	250
9	220
12	210
15	150

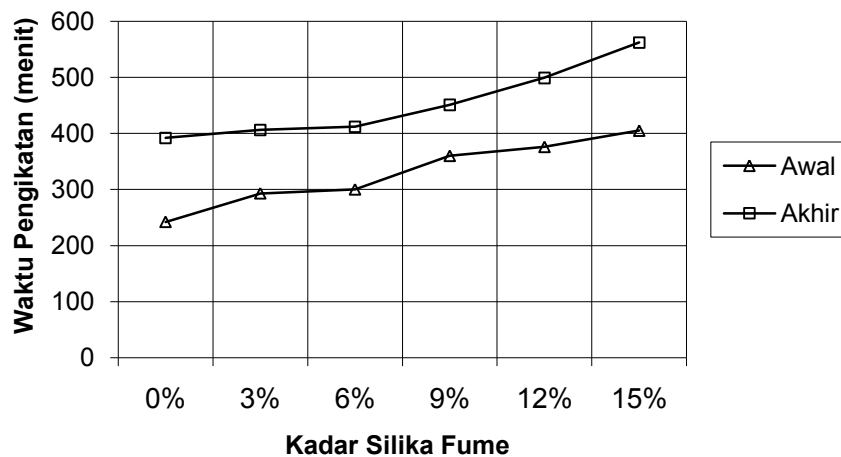
3.3. Waktu Pengikatan Beton

Pengukuran waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir dilakukan dengan alat *penetration resistance*. Waktu pengikatan awal terjadi pada perlawanan penetrasi sebesar 3,5 MPa dan waktu pengikatan akhir terjadi pada perlawanan penetrasi sebesar 27,6 MPa. Selanjutnya waktu pengikatan awal dan waktu pengikatan akhir pada masing-masing kadar silika fume disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 1

Semakin besar persentase abu silika fume maka waktu pengikatan awal maupun waktu pengikatan akhir semakin lambat. Senyawa-senyawa C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF akan bereaksi dengan air, yang diawali dengan senyawa C_3A . Hasil reaksi akan bereaksi kembali dengan unsur utama yang terdapat pada silika fume yaitu silika. Dengan demikian, maka rantai reaksi hidrasi akan semakin panjang yang pada akhirnya akan menambah waktu pengikatan beton. Semakin besar kandungan silika fume sebagai bahan tambahan pada adukan beton maka proporsi senyawa-senyawa C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF akan berkurang pula. Hal ini akan menyebabkan berkurangnya panas hidrasi, sehingga akan memperlambat reaksi dan waktu pengikatan.

Tabel 5. Hasil Pengujian Waktu Pengikatan Beton

Kadar Silika fume (%)	Waktu pengikatan awal (menit)	Waktu pengikatan akhir (menit)
0	242	392
3	293	406
6	300	412
9	360	451
12	376	499
15	405	562



Gambar 1. Hubungan Waktu Pengikatan dengan Kadar Silika fume

3.4. Kuat Tekan

Kuat tekan uniaksial benda uji silinder dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan sebagai berikut:

$$f_c = P/A \quad [1]$$

dengan :

f_c = kuat tekan silinder (MPa)

P = beban yang dipikul pada saat runtuh (N)

A = luas penampang silinder (mm²)

Selanjutnya hasil kuat tekan rata-rata benda uji silinder untuk masing-masing kadar silika fume dan umur disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 2.

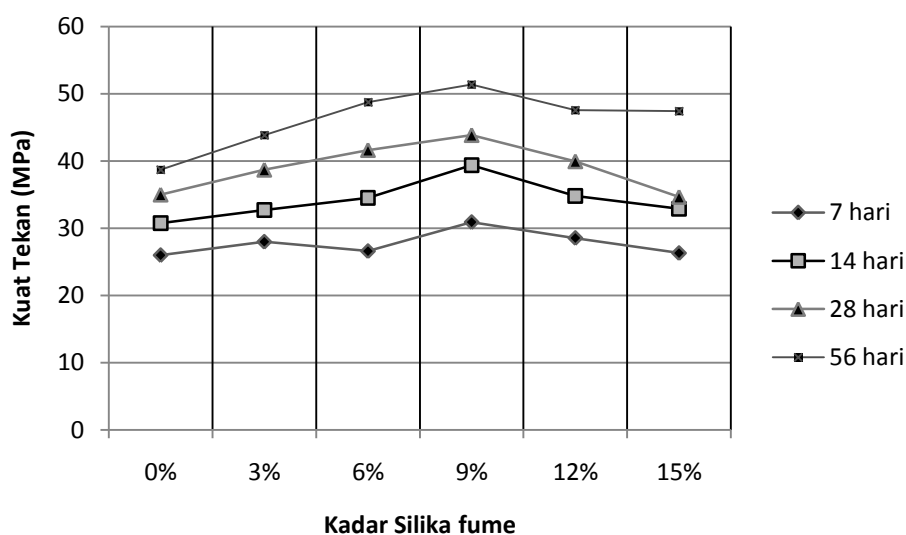
Kuat tekan beton silika fume pada umur 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 hari lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan beton tanpa silika fume dengan umur yang sama, terlihat pada Tabel 6 dan Gambar 2. Hal ini terjadi pada semua kadar silika fume. Ini terjadi karena butiran silika fume yang sangat halus, 0,1 μm dan kandungan SiO₂ yang tinggi, 85 % sehingga reaksi pozzolan yang terjadi lebih cepat. Reaksi pozzolan ini mulai terjadi pada umur 7 hari, yang ditandai dengan peningkatan kuat tekan beton (Sandvik, 1986). Setelah umur 28 hari maka kuat tekan beton silika fume menunjukkan peningkatan kuat tekan yang lebih besar. Hal ini disebabkan reaksi antara senyawa kalsium hidroksida, Ca(OH)₂ yang merupakan produk hidrasi dengan senyawa silika yang ada pada silika fume berlangsung lebih lambat (Ryan, 1992), sehingga terbentuknya kalsium silikat hidrat, CSH lebih lama (lebih dari 28 hari). Selanjutnya senyawa CSH inilah yang memberikan kekuatan tambahan pada beton. Secara mekanik ukuran butiran silika fume yang lebih halus akan meningkatkan kerapatan beton, yang pada akhirnya akan meningkatkan kekuatan beton.

Pengurangan senyawa kalsium hidroksida pada beton akibat telah bereaksi dengan SiO₂ pada silika fume, akan meningkatkan kekuatan beton. Pada penelitian ini, kuat tekan hanya dipantau sampai umur 56 hari saja. Dari Tabel 6 dan Gambar 2 terlihat bahwa penambahan silika fume sebesar 9 % dari berat semen pada umur 56 hari memberikan kuat tekan optimum yaitu mencapai 51,35 MPa.

Secara umum kadar penggunaan silika fume pada beton disarankan dibawah 10 % dari berat semen (Radjy dkk, 1986).

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Rata-Rata

Kadar Silika fume (%)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)			
	7 hari	14 hari	28 hari	56 hari
0	25,98	30,72	35,00	38,67
3	27,97	32,70	38,69	43,83
6	26,58	34,51	41,61	48,71
9	30,89	39,38	43,83	51,35
12	28,53	34,79	39,94	47,45
15	26,29	32,86	34,66	47,41



Gambar 2. Hubungan Kadar Silika fume dengan Kuat Tekan

4. SIMPULAN

1. Nilai *slump* yang terjadi pada semua kadar silika fume lebih besar dari 190 mm kecuali pada kadar silika fume 15 %.
2. Penambahan silika fume pada adukan beton alir mutu tinggi secara umum mengurangi kelecakan adukan beton.
3. Semakin besar persentase silika fume maka waktu pengikatan awal maupun waktu pengikatan akhir semakin lambat.
4. Penggunaan silika fume sebagai bahan tambahan secara umum memberikan peningkatan kuat tekan mulai umur 7 hari.
5. Kuat tekan beton optimum sebesar 51,35 MPa dihasilkan pada umur 56 hari pada kadar silika fume sebesar 9 % sebagai bahan tambahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Intannia Lestari, yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 211. 1993. *Guide for Selecting Proportion for High Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash*. Journal ACI
- ACI Committee 234. 1995. *Guide for Use of Silica Fume in Concrete*. Vol 92, No. 4 ACI Materials Journal.
- ASTM 04.02. 1994. *Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Aggregates*. Philadelphia.
- Burge, A.T. 1988. *Microsilica A New Technology*. Sika Information
- Munaf, D. R. 1992. *Pembuatan dan Penyelidikan Perilaku Beton Mutu Tinggi serta Bahan Pembentuknya*. Laporan Penelitian. Fakultas Teknik dan Perencanaan ITB
- Neville, A.M. dan Brooke, J.J. 1987. *Concrete Technology*. Longman Scientific & Technical, London
- Ouchi, M, Nakamura,S,Osterberg,T, Hallberg,SE dan Lwin M. 2007 *Bridge Technology of Self-Compacting concrete in Japan , Europe and the United States*.United States Departement of Transportation-Federal Higway Administration-Infrastructure
- Radjy. F.F. dkk. 1986. *A Review of Experiences with Condensed Silica Fume Concretes and Products*. ACI SP 91-56. Proceedings Second International Conference. Madrid, Spain.
- Ronald, L.B., Charles, F.P., dan Michael, E.W. 1976. *Proportioning and Controlling High Strength Concrete*. Publication SP-46. American Concrete Institute. Detoit
- Ryan,W.G. 1992. *Australian Concrete Technology*. Longman Cheshire, Melbourne.
- Sandvik, M dan Gjorv, O.E. 1986. *Effect of Condensed Silica Fume on Strength Development of Concrete*. ACI SP 91-42. Proceedings Second International Conference. Madrid, Spain.
- Suhud, R. 1993. *Beton Mutu Tinggi*. Institut Teknologi Bandung
- Surya Sebayang. 2002. *Jurnal Penelitian Rekayasa Sipil dan Perencanaan*. Edisi Keenam.*Pengaruh Kadar Abu Terbang Terhadap Kuat Tekan Beton Alir Mutu Tinggi*.Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
- Surya Sebayang.2006. *Jurnal Teknik Sipil*, No.2, vol.6. *Pengaruh Abu Terbang Sebagai Pengganti Sejumlah Semen Type V Pada Beton Mutu Tinggi*. Universitas Atma Jaya. Yogyakarta
- Surya Sebayang.2010. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, No.1, Vol. 14 *Pengaruh Kadar Abu Terbang Sebagai Pengganti Sejumlah Semen Pada Beton Alir Mutu Tinggi*. Fakultas Teknik, Universitas Lampung.