

**PENGARUH SUBSTITUSI *MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION*
(MSWI) *FLY ASH* PLTSA BENOWO SURABAYA TERHADAP KUAT
TEKAN MORTAR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya
untuk Memenuhi Sebagian Syarat Memperoleh
Gelar Strata (S-1) dalam Program Studi Teknik Sipil



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh
NURULLAH PANDU NEGARA
(09040722060)

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2025

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurullah Pandu Negara

NIM : 09040722060

Program Studi: Teknik Sipil

Fakultas : Sains dan Teknologi

Universitas : UIN Sunan Ampel dan Surabaya

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“PENGARUH SUBSTITUSI MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION (MSWI) FLY ASH PLTSA BENOWO SURABAYA TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR”** adalah benar-benar hasil karya sendiri yang ditulis secara sah sesuai dengan kaidah penulisan ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan, serta bukan hasil dari pikiran atau pengambilan tulisan orang lain. Apabila di kemudian hari ditemukan bukti serta terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan hukum.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh tanpa adanya paksaan dari pihak manapun.

Surabaya, 24 Juni 2026

Yang menyatakan,



Nurullah Pandu Negara

NIM. 09040722060

PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini untuk menyetujui:

Nama : Nurullah Pandu Negara

NIM : 09040722060

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : PENGARUH SUBSTITUSI *MUNICIPAL SOLID WASTE*
INCINERATION (MSWI) *FLY ASH* PLTSA BENOWO
SURABAYA TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan

Surabaya, 7 Juni 2026

Dosen Pembimbing I



Noverma, M.Eng.

NIP. 198111182014032002

Dosen Pembimbing II



Asri Sawiji, M.T.

NIP.198703102014032007

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir berjudul "Pengaruh Substitusi *Municipal solid waste incineration* (MSWI) *Fly ash* PLTSA Benowo Surabaya Terhadap Kuat Tekan Mortar" oleh:

NURULLAH PANDU NEGARA

09040722060

Surabaya, 19 Juni 2026

Penguji I

Noverma, M.Eng.

NIP. 198111182014032002

Penguji II

Asri Sawiji, M.T.

NIP.198706262014032003

Penguji III

Efa Suriani, M. Eng

NIP. 197902242014032003

Penguji IV

Dr. Ir. Parmo, S.T., M.T

NIP. 198202242014031001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Ampel Surabaya



Dr. A. Saepul Hamdani, M.Pd

NIP. 196507312000031002

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Nurullah Pandu Negara

NIM : 09040722060

Fakultas/Jurusan : Fakultas Sains dan Teknologi/Teknik Sipil

E-mail address : nurulalpandu@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

☒ Sekripsi ☐ Tesis ☐ Desertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

PENGARUH SUBSTITUSI *MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION* (MSWI) *FLY ASH*
PLTSA BENOWO SURABAYA TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR

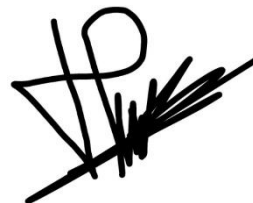
beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara **fulltext** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 30 Juni 2026

Penulis



Nurullah Pandu Negara

Untuk mengatasi *over supply* industri semen yang menyumbang emisi CO₂ global dan memanfaatkan limbah B3 *Municipal solid waste incineration* (MSWI) *Fly ash* dari PLTSA Benowo, penelitian ini menggunakan *Washed MSWI Fly ash* sebagai substitusi parsial semen pada mortar tipe S dengan metode *boiling water curing*. Melalui *pretreatment* pencucian, kadar klorida bebas pada limbah pozzolanic ini berhasil diturunkan sebesar 41,51% agar lebih stabil sebelum diuji pada variasi substitusi (0%, 15%, 20%, 25%) dan durasi curing (4, 4,5, 5 jam). Hasilnya, penambahan *fly ash* menurunkan *flowability* menjadi 104% dan menaikkan rasio air-pengikat, namun masih sesuai standar SNI. Meskipun kuat tekan menurun seiring bertambahnya substitusi, kadar 20% tetap stabil berkat efek partikel halus *fly ash* sebagai microfiller. Secara keseluruhan, kombinasi optimum tercapai pada substitusi 20% dengan durasi curing 4,5 jam yang menghasilkan kuat tekan 9,8 MPa (memenuhi standar $\geq 8,5$ MPa) karena durasi ini ideal bagi pembentukan senyawa C-S-H tanpa memicu mikroretak. Penelitian ini diharapkan dapat membuktikan bahwa limbah B3 mampu diubah menjadi material konstruksi yang aman, mendukung ekonomi sirkular, dan mengurangi dampak lingkungan.

Kata Kunci: MSWI *Fly ash*, Substitusi Semen, Mortar Tipe S, *Boiling Water curing*, Kuat Tekan.

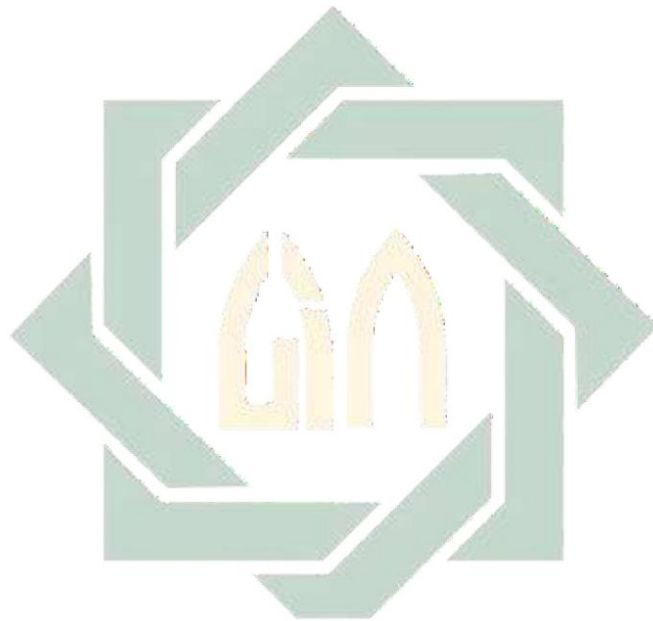
UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.5.1. Manfaat Teoritis	5
1.5.2. Manfaat Praktis	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Landasan Teori	6
2.1.1. Mortar.....	6
2.1.2. Karakteristik MSWI FA	9
2.1.3. Metode Perawatan (<i>Curing</i>).....	12
2.1.4. Karakteristik Mekanik Mortar.....	18
2.1.5. Standart Mutu Kuat Tekan Mortar	23
2.2 Integrasi Islam.....	26
2.2.1. Larangan Berbuat Kerusakan (Fasad) dan Pencemaran.....	26
2.2.2. Prinsip Pemanfaatan dan Menghindari Kemudharatan.....	27
2.2.3. Konservasi Sumber Daya Alam	27
2.3 Penelitian Terdahulu.....	28
Judul/Topik Penelitian.....	29
Pengaruh Jenis Perawatan Terhadap Kuat Tekan Mortar.....	29

BAB III METODE PENELITIAN.....	32
3.1 Lokasi.....	32
3.1.1. Lokasi Pengambilan Benda uji.....	32
3.1.2. Lokasi Pengujian Eksperimental.....	32
3.2 Diagram Alir Penelitian.....	34
3.3 Alat dan Bahan.....	34
3.3.1. Bahan Penelitian (<i>Equipment</i>)	34
3.3.2. Peralatan Penelitian (<i>Equipment</i>).....	40
3.3.3 Rancangan Campuran dan Matriks Benda Uji.....	58
3.4 Prosedur Pelaksanaan dan Metode Pengujian.....	61
3.4.1. Pengujian Pasir.....	61
3.4.2. <i>MSWI Fly ash</i>	66
3.4.3. Uji Berat Jenis Kapur Hidroksida	69
3.4.4. Uji Berat Jenis Semen OPC (<i>Ordinary Portland Cement</i>)	70
3.4.5. Persiapan dan Pengadukan.....	72
3.4.6. Pengujian <i>Flowability</i> (Mortar Segar)	73
3.4.7. Pencetakan.....	74
3.4.8. <i>Boiled Curing</i>	75
3.4.9. Pengujian Kuat Tekan	79
3.5 Analisis Data	79
3.5.1. Analisis Statistik Deskriptif: Pemusatan Data Kuat Tekan.....	79
3.5.2. Analisis Pengaruh Variabel Independen (Kausalitas)	80
3.6. Evaluasi Substitusi <i>MSWI Fly ash</i> (0% vs 15%, 20%, 25%).....	80
3.6.1. Evaluasi Durasi <i>Boil Curing</i> (4, 4.5, vs 5 Jam).....	80
BAB IV PEMBAHASAN DAN HASIL	82
4.1. Hasil Pengujian Karakteristik Material Pembentuk.....	82
4.1.1. Uji Material Pasir	82
4.1.2 Uji Material <i>MSWI Fly ash</i>	89
4.1.3 Hasil Uji Material Kapur Hidroksida.....	98
4.1.4 Hasi Uji Material Semen.....	100
4.2 Hasil Uji <i>Flow</i>	100
4.3 Hasil Uji Tekan.....	104
4.4 Pengaruh <i>Boil Curing</i> Treatment Pada Kuat Tekan Mortar	119

4.5	Penentuan Kombinasi Kadar <i>Fly ash</i> dan Durasi Perawatan Optimum	122
BAB V.....		124
KESIMPULAN DAN SARAN.....		124
5.1.	Kesimpulan	124
5.2.	Saran.....	126
DAFTAR PUSTAKA.....		127



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor Luas Permukaan.....	22
Tabel 2. 2 Tabel Gradasi Pasir Pada Mortar.....	22
Tabel 2. 3 Tingkat Mutu Berdasarkan Kuat Tekan Rata-Rata.....	25
Tabel 2. 4 Tabel Ringkasan Penelitian Terdahulu	28
Tabel 3. 1 Tabel Matriks Pengujian.....	59
Tabel 3. 2 Tabel Mix design Benda Uji Menurut SNI 6882 2014	59
Tabel 3. 3 Tabel Mix design Benda Uji Yang digunakan.....	60
Tabel 4. 1 Tabel Hasil Uji Gradasi.....	82
Tabel 4. 2 Tabel SNI 03-6820-2002.....	83
Tabel 4. 3 Tabel Data Pasir Uji	83
Tabel 4. 4 Tabel Uji Kadar Air	85
Tabel 4. 5 Tabel Uji Berat Jenis dan Penyerapan Pasir.....	87
Tabel 4. 6 Tabel Berat Jenis <i>Fly ash</i>	89
Tabel 4. 7 Tabel XRF	91
Tabel 4. 8 Tabel Hasil Analisis Kadar Klorida.....	93
Tabel 4. 9 Tabel Hasil Analisis Kadar Klorida.....	95
Tabel 4. 10 Tabel SNI 2847 Batas Kandungan Klorida Bebas dan Peruntukannya	96
Tabel 4. 11 Tabel Hasil Uji BJ Kapur Hidroksida.....	99
Tabel 4. 12 Tabel Hasil Uji Berat Jenis Semen.....	100
Tabel 4. 13 Data Hasil Pengujian Nilai <i>Flow</i> Campuran	101
Tabel 4. 14 Hasil Uji Tekan 4 Jam <i>Curing</i>	104
Tabel 4. 15 Kategori Benda Uji Berdasarkan Kuat Tekan Mortar 4 Jam.....	105
Tabel 4. 16 Hasil Uji Tekan 4,5 Jam <i>Curing</i>	107
Tabel 4. 17 Kategori Benda Uji Berdasarkan Kuat Tekan Mortar 4,5 Jam.....	110
Tabel 4. 18 Hasil Uji Tekan 5 Jam <i>Curing</i>	113
Tabel 4. 19 Kategori Benda Uji Berdasarkan Kuat Tekan Mortar 5 Jam.....	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hubungan Antara Faktor Air/Semen Terhadap Kuat Tekan.....	20
Gambar 2. 2 Hubungan Faktor Agregat-Semen terhadap Kuat Tekan Beton	21
Gambar 3.1 Diagram alir.....	34
Gambar 3.2 Ordinary Portland Cement	36
Gambar 3.3 Kapur Hidroksida	37
Gambar 3.4 MSWI <i>Fly ash</i>	38
Gambar 3.5 Agregat Halus	39
Gambar 3.6 Cairan Kerosone.....	40
Gambar 3.7 Sieve Shaker.....	41
Gambar 3.8 <i>Standart Sieve</i>	42
Gambar 3.9 Timbangan Digital.....	43
Gambar 3.10 Oven Laboratorium	44
Gambar 3.11 Wadah Penampung	46
Gambar 3.12 Talam Logam Pengering	47
Gambar 3.13 Sendok Pengaduk.....	48
Gambar 3.14 Piknometer	49
Gambar 3.15 Kerucut Abram Mini	50
Gambar 3.16 <i>Flow Mold</i>	51
Gambar 3.17 <i>Beaker Glass</i>	51
Gambar 3.18 <i>Beaker Glass</i>	52
Gambar 3.19 Meja Getar.....	53
Gambar 3.20 <i>Flow Table</i>	54
Gambar 3.21 <i>Curing Tank</i>	55
Gambar 3.22 Alat Penjepit.....	56
Gambar 3.23 <i>Compression Testing Machine (CTM)</i>	57
Gambar 3.24 Benda Uji.....	61
Gambar 3.25 Sketsa Benda Uji	61
Gambar 3.26 Proses Pengayakan Pasir	62
Gambar 3.27 Proses Pengovenan Pasir	64
Gambar 3.28 Uji Berat Jenis	65

Gambar 3.29 Uji Proses Pencucian <i>Fly ash</i>	66
Gambar 3.30 Uji Berat Jenis <i>MSWI FLY ASH</i>	68
Gambar 3.31 Uji Berat Jenis Kapur Hidroksida	69
Gambar 3.32 Uji Berat Jenis Semen OPC	71
Gambar 3.33 Persiapan dan Pengadukan	73
Gambar 3.34 Pengujian <i>Flowability</i>	74
Gambar 3.35 Pencetakan.....	75
Gambar 3.36 Proses <i>Boil Curing</i>	76
Gambar 3.37 Pengujian Kuat Tekan	79
Gambar 4. 1 Grafik Analisis Gradasi Pasir Alam.....	84
Gambar 4. 2 Grafik Presentase Kandungan Klorida Bebas	95
Gambar 4. 3 Pengaruh Variasi MSWI FA terhadap Kenaikan Kebutuhan Air ...	101
Gambar 4. 4 Grafik Hubungan Variasi MSWI Fly ash terhadap Kuat Tekan Mortar pada Umur <i>Curing</i> 4 Jam.....	105
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Variasi MSWI Fly ash terhadap Kuat Tekan Mortar pada Umur <i>Curing</i> 4.5 Jam.....	110
Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Variasi MSWI Fly ash terhadap Kuat Tekan Mortar pada Umur <i>Curing</i> 5 Jam.....	114
Gambar 4. 7 Grafik Hubungan Seluruh Rata Rata Kuat Tekan Dengan Penambahan MSWI FA Dengan Semua Variasi Semua Waktu <i>Curing</i>	118

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Putra Sihombing et al. (2002). *Pengaruh Penambahan Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar*. 10(1), 31–38.
- Aji Primanto et al. (2024). Evaluasi Kebijakan Pengelolaan Sampah Plastik Di Kota Semarang. *Berajah Jurnal*, 157–174.
- Al-gburi, M., Abed, J., Almssad, A., Alhayani, A. A., & Nilsson, M. (2025). The effect of real curing temperatures on early age concrete strength development in massive concrete structures. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 29(9), 1832–1847.
<https://doi.org/10.1080/19648189.2025.2458294>
- Amelia, R., & Amalia, K. R. (2021). *Hubungan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton*. 4(2), 225–235.
<https://doi.org/10.33087/talentsipil.v4i2.79>
- ASTM. (2002). *ASTM C684*.
- Aulia, I., Trihadiningrum, Y., Cara, T., Penyimpanan, T., Limbah, P., & Berbahaya, B. (2015). *Stabilisasi / Solidifikasi Timbunan Tailing Penambangan*. 5(2).
- Badan Standarisasi Nasional. (n.d.). *SNI 1970:2016*.
- Damanhuri, P. E. et al. (2011). *Pengelolaan sampah*.
- Ebert, B. A. R., Steenari, B.-M., Geiker, M. R., & Kirkelund, G. M. (2019). *The Effect of MSWI Fly ash on Mortar Workability*.
- Estaurina, E. L., Pramudit, N. B., & Syahir, R. (2024). *Silikosis di kalangan perempuan pekerja tambang batu pasir : Studi kasus penyakit paru di tempat kerja*. 1(1), 44–51.
- Ferraro, A., Farina, I., Race, M., Colangelo, F., Cioffi, R., & Fabbicino, M. (2019). Pre-treatments of MSWI fly-ashes : a comprehensive review to determine optimal conditions for their reuse and / or environmentally sustainable disposal. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 1(Mangialardi 2004). <https://doi.org/10.1007/s11157-019-09504-1>
- Firdausy, M. A., Syauri, M. S., Natanegara, N. D., Lingkungan, S. T., Teknik, F., Lambung, U., Jl, M., Indocement, P. T., Prakarsa, T., Kotabaru, T. K., Kelumpang, K., & Tarjun, H. D. (2025). *Analisis Dampak Lingkungan Industri*

Semen Dengan Pendekatan Life Cycle Assesment Pada Ruang Lingkup Cradle To Gate Enviromental Impact Analysis Of Cement Induustry With Life Cycle Assesment Approach.

Gusdini, N., Mediana, N., & Pratiwi, R. (2023). *Jurnal Teknologi Lingkungan Uji Kinerja Insinerator dan Alat Pengendali Pencemaran Udara Performance Testing of Incinerator and Air Pollution Control Tools to Minimize the Impact of Hazardous Waste*. 24(1), 1–9.

Haigh, R. dan S. (2025). *Traditional and Advanced Curing Strategies for Concrete Materials : A Systematic Review of Mechanical Performance , Sustainability , and Future Directions*.

He Xinghua. (2016). *Physical and chemical properties of mswi fly ash*. 451–459.

Hunggurami, E. (2023). *Pengaruh Perawatan Beton (Curing) Menggunakan Water curing Dan Membrane Curing Terhadap Kuat Tekan Beton*. 12(2), 137–144.

Indonesia, P. R. (2021). *5 ayat 12*. 085459.

Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2002a). *SNI 03-6820-2002*.

Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2002b). *SNI 03-6825-2002*.

Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2014). *SNI 6882-2014*.

Li, J. (2021). *Municipal solid waste incineration Ash-Incorporated Concrete : One Step towards Environmental Justice*.

Lim, E. et al. (2022). *Dasar-Dasar Teknik Konstruksi dan Perumahan*.

Parwanti, A. et al. (2024). *Pemanfaatan Sampah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Di TPA GebangKeret JOMBANG*. Asnun Parwanti, 17(2), 133–143.

Pietrzak, A. (2025). *The Mechanical Strength of Ecological Cement Mortars Based on Fly ash from the Combustion of Municipal Waste and Cement Kiln Dust*.

Suhayati, M. (2025). *Program tiga juta rumah: peluang bagi industri semen nasional*.

Sujatmiko, H. (2024). *Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan*. 3(8), 21–29.

Tiffany Azhra Amanda et al. (2025). *Dampak : Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas Characteristics of Fly ash and Bottom Ash from Incinerators at Landfill*. 2, 1–8.

- Umami Chasanah et al. (2022). *Pengujian Kuat Lentur Dan Kuat Tekan Semen Mortar Material Konstruksi (Pengujian Pada laboratorium PT. Nusantara Building Industries)*. 2(2), 23–28.
- Wenda, K., Zuridah, S., Hastono, B., Sipil, T., Teknik, F., Sipil, T., Teknik, F., Sipil, T., & Teknik, F. (2018). *Pengaruh variasi komposisi campuran mortar terhadap kuat tekan*. 1, 8–13.
- Zhang.et.al. (2024). *Research on the Preparation of Dry Mixed Mortar Using Waste Incineration Fly ash*.
- Zikir, M. (2023). *Jurnal Teknik Kimia USU Solidifikasi / Stabilisasi (S / S) Fly ash yang Terkontaminasi Fenol sebagai Bahan Substitusi dan Pengisi pada Pembuatan Beton Solidification / Stabilization of Phenol Contaminated Fly ash as aSubtitute and Filler Material in the Manufacture of Concrete*. 12(1), 54–61.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A