

**RANCANG BANGUN *SCRAPER* DAN ANALISIS  
PENGARUH *SCRAPER* TERHADAP PERFORMA *ICE  
SLURRY GENERATOR***

**SKRIPSI**

Oleh

**KUSWANTORO  
04 03 02 046 7**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**

**RANCANG BANGUN *SCRAPER* DAN ANALISIS  
PENGARUH *SCRAPER* TERHADAP PERFORMA *ICE  
SLURRY GENERATOR***

**SKRIPSI**

Oleh

**KUSWANTORO  
04 03 02 046 7**



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN  
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
GENAP 2007/2008**

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

### **RANCANG BANGUN *SCRAPER* DAN ANALISIS PENGARUH *SCRAPER* TERHADAP PERFORMA *ICE SLURRY GENERATOR***

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 20 Juni 2008

Kuswantoro  
NPM. 04 03 02 046 7

# PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

## **RANCANG BANGUN *SCRAPER* DAN ANALISIS PENGARUHNYA TERHADAP PERFORMA *ICE SLURRY GENERATOR***

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 1 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 14 Juli 2008

Dosen Pembimbing

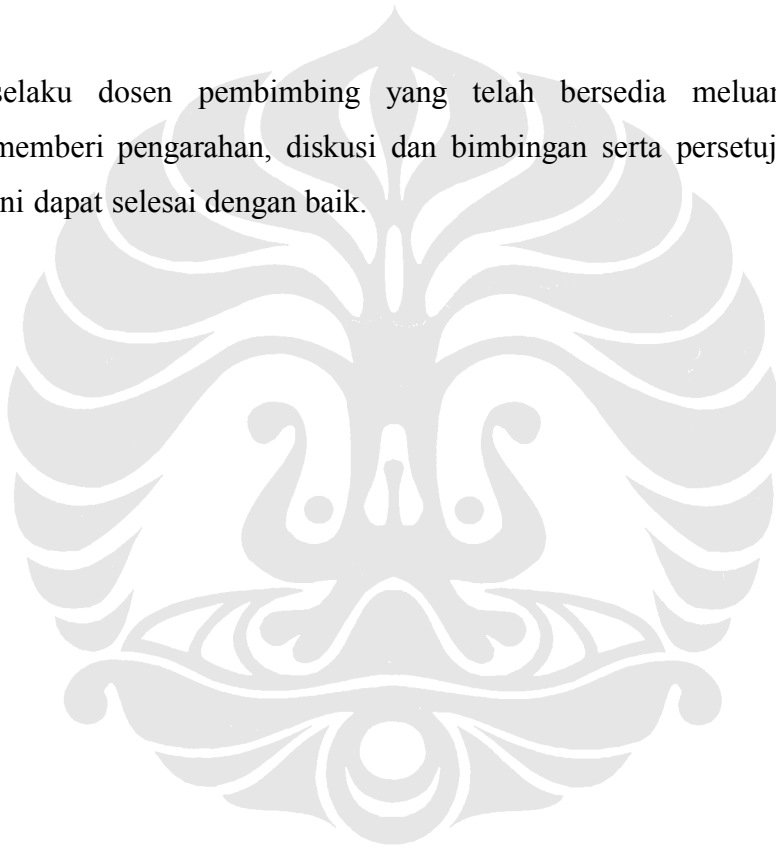
Dr-Ing.Ir.Nandy Putra  
NIP 132 128 630

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

**Dr-Ing.Ir.Nandy Putra**

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



# DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	i
PENGESAHAN	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH .....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN .....	3
1.4 MANFAAT PENELITIAN .....	3
1.5 RUANG LINGKUP DAN BATAS-BATAS PENELITIAN .....	4
1.6 METODOLOGI PENELITIAN .....	4
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 DEFINISI .....	7
2.2 SEJARAH .....	7
2.3 ZAT PENURUNAN TITIK BEKU .....	9
2.3.1 Titik Beku Dan Konsentrasi Es .....	10
2.4 SIFAT THERMOFLUIDA LARUTAN BINARY AIR + ETHYLENE GLYCOL .....	12
2.4.1 Massa Jenis, Kalor Jenis, Dan Konduktivitas Thermal .....	13
2.4.2 Viskositas .....	13
2.4.3 Enthalpi .....	14
2.5 SIFAT THERMOFLUIDA ICE SLURRY .....	15
2.5.1 Densitas .....	15
2.5.2 Kalor Jenis .....	16
2.5.3 Konduktivitas Thermal .....	16
2.5.4 Viskositas .....	17
2.6 ADHESI ES PADA DINDING PERPINDAHAN KALOR .....	18
2.7 TIPE ALIRAN PADA AGITATED VESSEL .....	20
BAB III PERANCANGAN SCRAPER	21
3.1 DESKRIPSI ICE SLURRY GENERATOR .....	21
3.2 KONSEP DESAIN .....	22
3.3 PEMILIHAN DESAIN .....	23

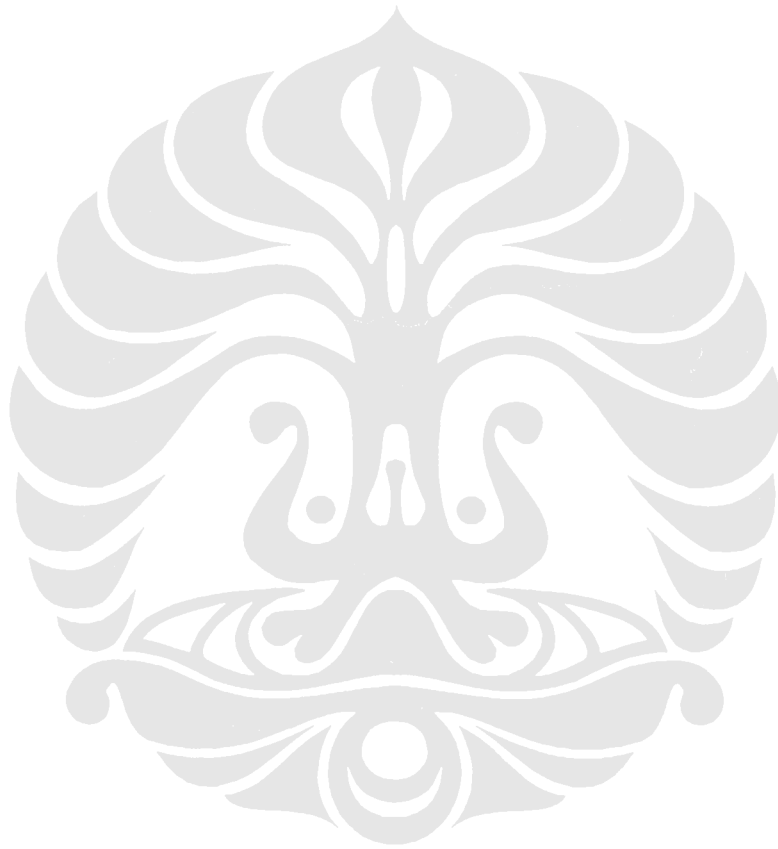
3.4	PEMILIHAN MATERIAL .....	24
3.5	PENETUAN DIMENSI .....	25
3.6	ESTIMASI GAYA-GAYA .....	25
	3.6.1 Gaya Yang Bekerja Pada Scraper Akibat Ice Scaling .....	25
	3.6.2 Gaya Dinamis Fluida .....	27
3.7	ANALISIS MODE KEGAGALAN .....	32
	3.7.1 Analisis Stress Pada Scraper .....	33
	3.7.2 Analisis Deformasi Pada Scraper .....	34
BAB IV PERALATAN DAN PERBAIKAN SISTEM .....		36
4.1	PERALATAN PENGUJIAN .....	36
	4.1.1 Compressor .....	36
	4.1.2 Condenser .....	37
	4.1.3 Expansion Valves .....	37
	4.1.4 Filter Dryer .....	38
	4.1.5 Auger Dan Scraper .....	38
	4.1.6 Motor DC .....	39
4.2	ALAT UKUR .....	40
	4.2.1 Temperatur .....	40
	4.2.2 Tekanan .....	41
	4.2.3 Kelistrikan .....	42
	4.2.4 Kecepatan Putar .....	43
4.3	PERBAIKAN SISTEM REFRIGERASI ISG .....	43
	4.3.1 Pengujian Tidak Merusak .....	43
	4.3.2 Pengujian Merusak .....	44
4.4	PROSEDUR PENGUJIAN .....	46
4.5	METODE PENGOLAHAN DATA .....	47
BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS .....		48
5.1	TUJUAN PENGUJIAN .....	48
5.2	PENGOLAHAN DATA .....	48
	5.2.1 Titik Beku Larutan .....	48
	5.2.2 Fase Liquid .....	49
	5.2.3 Fase Liquid-Ice .....	51
5.3	HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS .....	53
	5.3.1 Pengaruh Kecepatan Terhadap Laju Perpindahan Kalor .....	53
	5.3.2 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Laju Perpindahan Kalor .....	59
	5.3.3 Pengaruh Scraper Terhadap Performa ISG .....	60
	5.3.4 Pengaruh Scraper Terhadap COP Sistem Refrigrasi ISG .....	63
5.4	ANALISIS KESALAHAN .....	65
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....		66
6.1	KESIMPULAN .....	66
6.2	SARAN .....	66
DAFTAR ACUAN .....		67
DAFTAR PUSTAKA .....		68
LAMPIRAN .....		70

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1.</b> Skematik diagram dari sistem <i>ice slurry</i> sebagai <i>secondary refrigerant</i> .....	8
<b>Gambar 2.2.</b> Fase Diagram dari larutan binary .....	9
<b>Gambar 2.3.</b> Diagram Enthalphy vs Konsentrasi untuk larutan NaCl .....	10
<b>Gambar 2.4.</b> Diagram Temperatur vs konsentrasi untuk larutan <i>biner</i> .....	11
<b>Gambar 2.5.</b> Titik beku vs konsentrasi untuk berbagai jenis <i>ice slurry</i> .....	11
<b>Gambar 2.6.</b> Grafik temperatur vs konsentrasi untuk larutan Ethylene Glycol	13
<b>Gambar 2.7.</b> Beberapa tipe <i>ice slurry generator</i> .....	18
<b>Gambar 2.8.</b> Interaksi antara lapisan <i>mushy</i> dengan <i>scraper</i> .....	19
<b>Gambar 3.1.</b> Instalasi sistem pendingin <i>ice slurry generator</i> yang digunakan..	21
<b>Gambar 3.2.</b> Bagian –bagian pada <i>ice slurry generator</i> .....	22
<b>Gambar 3.3.</b> Bentuk <i>scraper</i> desain A .....	23
<b>Gambar 3.4.</b> Bentuk <i>scraper</i> desain B .....	23
<b>Gambar 3.5.</b> Dimensi <i>scraper</i> .....	25
<b>Gambar 3.6.</b> Gaya akibat <i>ice scaling</i> .....	25
<b>Gambar 3.7.</b> Gaya akibat dinamika fluida .....	27
<b>Gambar 3.8.</b> Computational Domain (2D) pada Model CFD yang digunakan .	27
<b>Gambar 3.9.</b> Distribusi kecepatan hasil simulasi CFD .....	31
<b>Gambar 3.10.</b> Distribusi tekanan hasil simulasi CFD .....	31
<b>Gambar 3.11.</b> Model 3D dan pendefinisian kondisi batas .....	32
<b>Gambar 3.12.</b> Distribusi tekanan pada permukaan depan <i>scraper</i> .....	33
<b>Gambar 3.13.</b> Distribusi tekanan pada permukaan belakang <i>scraper</i> .....	34
<b>Gambar 3.14.</b> Bentuk deformasi pada <i>scraper</i> .....	34
<b>Gambar 4.1.</b> Foto compressor .....	36
<b>Gambar 4.2.</b> Foto condenser .....	37
<b>Gambar 4.3.</b> Foto ekspansion valve .....	37
<b>Gambar 4.4.</b> Foto filter dryer .....	38
<b>Gambar 4.5.</b> Foto <i>auger</i> /agitator yang telah dilengkapi <i>scraper</i> .....	39
<b>Gambar 4.6.</b> Foto motor DC .....	40
<b>Gambar 4.7.</b> Foto multimeter/temperatur digital.....	40
<b>Gambar 4.8.</b> Foto temperatur <i>recorder</i> .....	41
<b>Gambar 4.9.</b> Skematik sistem refrigerasi ISG dan peletakan piranti ukur .....	42
<b>Gambar 4.10.</b> Foto clamp meter .....	43
<b>Gambar 4.11.</b> Foto tachometer .....	43
<b>Gambar 4.12.</b> Foto condenser lama yang mengalami kebocoran.....	45
<b>Gambar 5.1.</b> Temperatur vs waktu, 7% dan putaran <i>auger</i> 100 rpm.....	53
<b>Gambar 5.2.</b> Foto lapisan es di titik pengukuran temperatur dinding.....	54
<b>Gambar 5.3.</b> Perbandingan temperatur larutan vs waktu, 7% .....	55
<b>Gambar 5.4.</b> Kurva selisih temperatur larutan rata-rata dengan temperatur dinding rata-rata terhadap waktu.....	56
<b>Gambar 5.5.</b> Foto adhesi es pada ISG untuk konsentrasi 7%, .....	58



<b>Gambar 5.6.</b> Efek rotasi terhadap profil permukaan larutan.....	59
<b>Gambar 5.7.</b> Kurva temperatur untuk kecepatan 200 rpm.....	59
<b>Gambar 5.8.</b> Kurva temperatur larutan rata-rata terhadap waktu untuk <i>auger</i> tanpa <i>scraper</i> dan yang telah dilengkapi <i>scraper</i> .....	61
<b>Gambar 5.9.</b> Foto adhesi es pada ISG,.....	62
<b>Gambar 5.10.</b> Foto kepadatan es pada mode pengujian, .....	63
<b>Gambar 5.11.</b> Plot diagram p-h untuk sistem refrigerasi ISG .....	63
<b>Gambar 5.12.</b> Perbandingan COP .....	64



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel II.1.</b> Nilai-nilai konstanta untuk menghitung berbagai sifat fisik larutan <i>biner ethylene glycol</i> .....	14
<b>Tabel III.1.</b> Kriteria pemilihan desain.....	24
<b>Tabel III.2.</b> Rangkuman Pemodelan CFD .....	30
<b>Tabel IV.1.</b> Kalibrasi <i>termocouple</i> .....	41
<b>Tabel IV.2.</b> Uji performa condenser baru .....	45
<b>Tabel V.1</b> Pengaruh kecepatan putar terhadap performa perpindahan kalor .....	57
<b>Tabel V.2.</b> Pengaruh konsentrasi terhadap performa perpindahan kalor .....	60
<b>Tabel V.3.</b> Pengaruh <i>scraper</i> terhadap laju perpindahan kalor .....	62



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b> Tabel data pengujian pembentukan <i>ice slurry</i> dengan fraksi massa 7% dan kecepatan putar 100 rpm	71
<b>Lampiran 2</b> Tabel data pengujian pembentukan <i>ice slurry</i> dengan fraksi massa 7% dan kecepatan putar 150 rpm	71
<b>Lampiran 3</b> Tabel data pengujian pembentukan <i>ice slurry</i> dengan fraksi massa 7% dan kecepatan putar 200 rpm	72
<b>Lampiran 4</b> Tabel data pengujian pembentukan <i>ice slurry</i> dengan fraksi massa 7% dan kecepatan putar 250 rpm	72
<b>Lampiran 5</b> Tabel data pengujian pembentukan <i>ice slurry</i> dengan fraksi massa 10% dan kecepatan putar 200 rpm	73
<b>Lampiran 6</b> Tabel data pengujian pembentukan <i>ice slurry</i> dengan fraksi massa 12% dan kecepatan putar 200 rpm	73
<b>Lampiran 7</b> Tabel data pengujian pembentukan <i>ice slurry</i> dengan fraksi massa 15% dan kecepatan putar 200 rpm, tanpa <i>scraper</i>	74
<b>Lampiran 8</b> Tabel data pengujian pembentukan <i>ice slurry</i> dengan fraksi massa 15% dan kecepatan putar 200 rpm, dengan <i>scraper</i>	75

## DAFTAR SINGKATAN

AFP	Anti Freeze Protein
BPO	Bahan Perusak Ozon
CFCs	Chlorofluorocarbons
CFD	Computational Fluid Dynamics
COP	Coeficient Of Performance
FIFE	Fine-Cystalline Ice : Fundamentals and Engineering
HCFCs	Hydrochlorofluorocarbons
HFCs	Hydrofluorocarbons
IIR	International Institute of Refrigeration
ISG	Ice slurry Generator
rpm	rotasi per-menit
TXV	Thermal eXpantion Valve

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Dimensi
UTS	<i>Ultimate Tensile Stress</i>	N/m <sup>2</sup>
$\phi_E$	Fraksi massa titik <i>eutectic</i>	
T <sub>E</sub>	Temperatur <i>eutectic</i>	°C
$\phi_0$	Fraksi massa awal larutan	
T <sub>F,0</sub>	Temperatur titik beku untuk $\phi_0$	°C
T <sub>s</sub>	Temperatur setimbang/akhir <i>ice slurry</i>	°C
$\phi_s$	Fraksi massa larutan untuk T <sub>s</sub>	
$\phi_{es}$	Fraksi massa es	
m <sub>es</sub>	Massa es	kg
m <sub>s</sub>	Massa larutan	kg
m <sub>auger</sub>	Massa <i>auger</i>	kg
h	Enthalpi	J/kg
$\rho_{is}$	Massa jenis <i>ice slurry</i>	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{es}$	Massa jenis es	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	Massa jenis larutan	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_0$	Massa jenis es pada 0°C	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{EG}$	Massa jenis ethylene glycol	kg/L
$\rho_{air}$	Massa jenis air	kg/L
V <sub>EG</sub>	Volume ethylene glycol	L
V <sub>air</sub>	Volume air	L
T <sub>sol</sub>	Temperatur larutan/ <i>ice slurry</i>	°C
T <sub>wall</sub>	Temperatur dinding <i>heat transfer</i>	°C
T <sub>eq</sub> [ $\phi_0$ ]	Fungsi $\phi_0$ untuk mencari temperatur titik beku	°C
h <sub>is</sub>	Enthalpi <i>ice slurry</i>	J/kg
h <sub>es</sub>	Enthalpi es	J/kg
h <sub>sol</sub>	Enthalpi larutan	J/kg
c <sub>p,es</sub>	Kalor jenis es	J/kg.K
c <sub>p,sol</sub>	Kalor jenis larutan	J/kg.K
c <sub>p,is</sub>	Kalor jenis <i>ice slurry</i>	J/kg.K

$c_{p,steel}$	Kalor jenis <i>steel</i>	J/kg.K
$k_{is}$	Konduktivitas <i>thermal ice slurry</i>	W/m.K
$k_{sol}$	Konduktivitas <i>thermal</i> larutan	W/m.K
$k_{es}$	Konduktivitas <i>thermal</i> es	W/m.K
$\xi_{es}$	Fraksi volume es	
$\mu_{is}$	Viscositas dinamik <i>ice slurry</i>	Pa.s
$\mu_{sol}$	Viscositas dinamik larutan	Pa.s
$F_s$	Gaya reaksi pada <i>scraper</i>	N
$L$	Panjang lapisan <i>mushy</i>	m
$H$	Lebar <i>scraper</i>	m
$\sigma_v$	Gaya adhesi persatuan luas <i>mushy</i>	N/m <sup>2</sup>
$E$	Modulus Elastisitas <i>mushy</i>	N/m <sup>2</sup>
$\alpha$	sudut serang <i>scraper</i>	
$\mu_1$	Koefisien gesek kinetis antara lapisan <i>mushy</i> dengan <i>scraper</i>	
$\mu_2$	Koefisien gesek kinetis antara <i>scraper</i> dengan dinding	
$\phi_f$	Fraksi massa larutan pada lapisan <i>mushy</i>	
$\phi_w$	Fraksi massa larutan pada dinding <i>heat transfer</i>	
Re	Bilangan Reynolds	
$N$	Kecepatan putar <i>auger</i>	rad/s
$\omega$	Kecepatan putar <i>auger</i>	rpm
$D_a$	Diameter <i>auger</i>	m
$D_g$	Diameter dinding <i>heat transfer</i> pada <i>ice slurry generator</i>	m
$\rho_{PE}$	Massa jenis Polyethelene	kg/m <sup>3</sup>
$E_{PE}$	Modulus elastisitas Polyethelene	N/m <sup>2</sup>
$UTS_{PE}$	Ultimate Tensile Strenght Polyethelene	N/m <sup>2</sup>
$v$	Kecepatan aliran fluida/ <i>ice slurry</i>	m/s
$\bar{P}_{front}$	Tekanan rata-rata pada sisi depan <i>scraper</i>	N/m <sup>2</sup>
$\bar{P}_{back}$	Tekanan rata-rata pada sisi belakang <i>scraper</i>	N/m <sup>2</sup>
$n_s$	<i>Safety factor</i>	
$S_y$	<i>Yield stress</i> suatu material	N/m <sup>2</sup>
$\bar{Q}_{out}$	Laju perpindahan kalor rata-rata keluar CV	Watt
$\bar{U}$	Koefisien perpindahan kalor rata-rata	W/m <sup>2</sup> .K