

**ANALISA DISTRIBUSI TEKANAN PADA *SLIDER*  
*BEARING* DENGAN PERMUKAAN SLIP DAN  
BERTEKSTUR MENGGUNAKAN  
METODE VOLUME HINGGA**



**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Magister Teknik Mesin pada Program Pascasarjana  
Universitas Diponegoro**

**Disusun oleh:**

**M DENNY SURINDRA  
NIM. L4E007012**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG  
2011**

**ANALISA DISTRIBUSI TEKANAN PADA *SLIDER*  
*BEARING* DENGAN PERMUKAAN SLIP DAN  
BERTEKSTUR MENGGUNAKAN  
METODE VOLUME HINGGA**

Disusun oleh:

**M DENNY SURINDRA  
NIM. L4E007012**

**Program Studi Magister Teknik Mesin  
Program Pascasarjana Universitas Diponegoro**

Menyetujui

Tanggal .....

Ketua

**Dr. Ir. A.P. Bayuseno, M.Sc**  
NIP. 19620520 198902 1001

Pembimbing

Co. Pembimbing

**Dr. Ir. Dipl.-Ing Berkah Fajar TK.**  
NIP. 19590722 198703 1003

**Dr. Jamari, ST, MT**  
NIP. 19740304 200012 1001

## ABSTRAK

# ANALISA DISTRIBUSI TEKANAN PADA *SLIDER BEARING* DENGAN PERMUKAAN SLIP DAN BERTEKSTUR MENGGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA

M DENNY SURINDRA  
NIM. L4E007012

Akhir-akhir ini banyak peneliti yang memfokuskan tentang permukaan kontak heterogen slip/tanpa slip pada *slider bearing*. Lebih dari itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa kekasaran permukaan berupa tekstur dapat juga memperbaiki distribusi tekanan untuk pelumasan.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa performansi pelumasan yang dihasilkan oleh permukaan slip dan bertekstur. Persamaan Reynolds dimodifikasi dan diselesaikan dengan menggunakan metode volume hingga untuk mengasumsikan slip mengikuti *Navier model*. Variasi dilakukan pada panjang slip. Bentuk tekstore adalah *rectangular*, sinusoidal dan *single-groove*.

Hasil simulasi yang berupa distribusi tekanan tak berdimensi menunjukkan bahwa pada permukaan bertekstur dan dengan sifat slip menghasilkan pengaruh yang positif terhadap perbaikan performansi pelumasan dibandingkan jika permukaan tanpa tekstur, bahkan tanpa efek *wedge*. Pemberian panjang slip yang menganalogikan permukaan *super-hydrophobic* juga menunjukkan peningkatan titik maksimum tekanan. Secara praktis hasil ini diharapkan dapat membantu meningkatkan performansi pelumasan di setiap komponen mesin yang mengalami kontak, tidak hanya *slider bearing*

**Kata kunci:** *slider bearing*, slip, *rectangular*, sinusoidal, *single-grooved*.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF PRESSURE DISTRIBUTION ON SLIDER BEARING WITH SLIP SURFACE AND TEXTURE USING FINITE VOLUME METHOD**

**M DENNY SURINDRA  
NIM. L4E007012**

*Recently many researchers focused on the contact surface using heterogeneous slip/no-slip situation. Moreover, the results also showed that the texture of surface roughness can also improve the distribution of pressure for lubrication.*

*The purpose of this study is to analyze the performance of the lubrication produced by the slip surface and textured surfaces. Modified Reynolds equation is solved using finite volume method assuming the slip following the Navier relation. Slip length is also varied. The shapes of the texture is rectangular, sinusoidal and single-groove.*

*The simulation results with regard to the dimensionless pressure distribution shows that the textured surface combined slip condition produces a positive effect on lubrication performance improvement than if without texture, even in absence of the wedge effect. Increasing the slip length (super-hydrophobic) shows an increase of maximum point of pressure. In practice this result is expected to improve the lubrication performance in every machine component having an opposing contact, not only slider bearing.*

*Keywords: slider bearings, slip, rectangular, sinusoidal, single-grooved*

## **PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS**

Tesis S2 yang tidak dipublikasikan, terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Diponegoro dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Universitas Diponegoro. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seijin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebut sumbernya. Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seijin Direktur Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.

Teruntuk "my daughter" Meiliana Salsyadella Surindra  
dan isteri tercinta yang selalu menunggu di rumah

*Eagle Flies Alone*

## UCAPAN TERIMA KASIH

*Alhamdulillah.*

Terima kasih penulis haturkan kepada Dr. Ir. Dipl-Ing. Berkah Fajar TK. dan Dr. Jamari, ST. MT. atas segala bimbingan, arahan, dan masukannya mulai dari penulisan proposal sampai dengan penulisan tesis ini.

Kepada M. Tauvqirrahman, ST, MT dan Rifky Ismail, ST, MT yang telah memberikan banyak pustaka referensi dan diskusinya penulis ucapkan terima kasih yang mendalam. Ucapan terima kasih juga penulis tujukan kepada Kurniawan, Eko Saputro serta semua teman-teman di Lab. EDT Undip yang telah banyak berdiskusi dengan penulis tentang kavitasi dan simulasi metode volume hingga. Di bagian akhir ini, penulis sangat berterima kasih kepada rekan-rekan seperjuangan seangkatan di Magister Teknik Mesin dan rekan-rekan kerja di Politeknik Negeri Semarang, atas masukan-masukannya dan semangatnya dalam penyelesaian model kavitasi. Harapan penulis, semoga “Analisa distribusi tekanan pada *slider bearing* dengan permukaan slip dan bertekstur menggunakan metode volumehingga” ini dapat memberikan sedikit pengetahuan bagi para pemerhati tribologi pada umumnya, serta kontak terlubrikasi pada khususnya.

Semarang, 6 Mei 2011

Penulis.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS</b> .....	v
<b>HALAMAN PERUNTUKAN</b> .....	vi
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR SINGKATAN</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMBANG</b> .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Originalitas penelitian .....	3
1.3 Pembatasan masalah.....	4
1.4 Tujuan penelitian.....	4
1.5 Manfaat penelitian.....	5
1.6 Hipotesis.....	5
1.7 Sistematika penulisan .....	5
<b>BAB II KONTAK TERLUBRIKASI (<i>LUBRICATED CONTACT</i>)</b> .....	7
2.1 Pendahuluan.....	7
2.2 Persamaan Reynolds dimodifikasi untuk kondisi slip .....	9
2.2.1 Persamaan Reynolds klasik .....	9
2.2.2 Penyederhanaan persamaan Reynolds.....	15
2.3 Distribusi tekanan kontak heterogen slip/tanpa slip <i>slider bearing</i> .....	18
2.3.1 Kasus inlet fluida adalah area slip.....	19



2.3.2 Kasus inlet fluida adalah area tanpa slip .....	19
2.4 Kekasaran Permukaan.....	20
2.4.1 Kekasaran Permukaan bertekstur <i>rectangular</i> .....	23
2.4.2 Kekasaran Permukaan bertekstur sinusoidal.....	23
2.4.3 <i>Single-grooved slider bearing</i> .....	24
2.4 Teori dasar metode volume hingga.....	24
<b>BAB III PEMODELAN DENGAN METODE VOLUME HINGGA .....</b>	<b>29</b>
3.1 Pendahuluan.....	29
3.2 Kasus I – Permukaan <i>smooth</i> dengan slip.....	30
3.2.1 Diskripsi masalah .....	30
3.2.2 Diskretisasi persamaan umum.....	33
3.3 Kasus II – Permukaan <i>smooth</i> dengan slip dan menggunakan kavitasi model <i>half-sommerfeld</i> .....	35
3.4 Kasus III – Kekasaran permukaan bertekstur <i>rectangular</i> dengan slip.....	36
3.5 Kasus IV – Kekasaran permukaan bertekstur <i>rectangular</i> dengan slip dan menggunakan kavitasi model <i>half-sommerfeld</i> .....	36
3.6 Kasus V – Kekasaran permukaan bertekstur sinusoidal dengan slip.....	37
3.7 Kasus VI – Kekasaran permukaan bertekstur sinusoidal dengan slip dan menggunakan kavitasi model <i>half-sommerfeld</i> .....	38
3.8 Kasus VII – <i>Single-grooved slider</i> .....	38
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.1 Validasi <i>present model</i> .....	41
4.2 Hasil pemodelan permukaan <i>smooth</i> dan bertekstur.....	43
4.2.1 Hasil pemodelan permukaan <i>smooth</i> dengan slip .....	43
4.2.2 Hasil pemodelan permukaan <i>smooth</i> dengan slip dan menggunakan kavitasi model <i>half-sommerfeld</i> .....	46
4.2.3 Hasil pemodelan permukaan bertekstur <i>rectangular</i> dengan slip .....	49
4.2.4 Hasil pemodelan permukaan bertekstur <i>rectangular</i> dengan slip dan menggunakan kavitasi model <i>half-sommerfeld</i> .....	52

4.2.5 Hasil pemodelan permukaan bertekstur sinusoidal dengan slip.....	55
4.2.6 Hasil pemodelan permukaan bertekstur sinusoidal dengan slip dan menggunakan kavitasi model <i>half-sommerfeld</i> .....	58
4.2.7 Hasil pemodelan permukaan <i>single-grooved slider bearing</i> .....	61
4.3 Perbandingan hasil pemodelan permukaan <i>smooth</i> dan bertekstur .....	63
4.3.1 Distribusi tekanan tak berdimensi $d = 0$ .....	63
4.3.2 Distribusi tekanan tak berdimensi $d = 0,25$ .....	64
4.3.3 Distribusi tekanan tak berdimensi $d = 0,5$ .....	65
4.3.4 Distribusi tekanan tak berdimensi $d = 0,75$ .....	66
4.3.5 Distribusi tekanan tak berdimensi untuk <i>single-grooved         slider bearing</i> .....	67
 <b>BAB V PENUTUP</b> .....	69
5.1 Kesimpulan .....	69
5.2 Saran .....	69
 <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	70

## DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI

Gambar 1.1	Gesekan yang terjadi pada <i>piston-ring</i> dan <i>ball-bearing</i> .....	1
Gambar 2.1	Rezim pelumasan.....	7
Gambar 2.2	Skema perbedaan rezim pelumasan di kurva <i>Stribeck</i> .....	8
Gambar 2.3	<i>Fluid film</i> antara dua permukaan solid.....	9
Gambar 2.4	Volume elemen fluida.....	11
Gambar 2.5	Kontinuitas aliran sebuah elemen.....	14
Gambar 2.6	Daerah slip dan tanpa slip pada permukaan diam sistem perangkat pelumasan.....	17
Gambar 2.7	Persamaan antara (a) slip/tanpa slip dengan (b) <i>step bearing</i> .....	18
Gambar 2.8	Variasi lokasi untuk inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0$ ; $d = 0,75$ .....	19
Gambar 2.9	Variasi lokasi untuk inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,25$ ; $d = 0,5$ .....	20
Gambar 2.10	Bentuk <i>single texture</i> pada permukaan bertekstur.....	21
Gambar 2.11	Berbagai region validasi Reynolds terhadap persamaan <i>Navier-Stokes</i> .....	22
Gambar 2.12	Pemodelan permukaan bertekstur <i>rectangular</i> .....	23
Gambar 2.13	Geometri <i>single-grooved slider bearing</i> dengan partial slip.....	24
Gambar 2.14	(a) Pembagian <i>control volume 1 dimensi</i> (b) Panjang <i>control volume</i> .....	26
Gambar 3.1	Skematik <i>infinite width slider bearing</i> dengan <i>mixed slip surface</i> .....	31

Gambar 3.2	<i>Contol volume nodal P pada infinite width slider bearing</i> .....	33
Gambar 3.3	Bentuk satu <i>cell</i> kekasaran permukaan.....	36
Gambar 3.4	Pemodelan kekasaran permukaan bertekstur sinusoidal.	37
Gambar 3.5	Geometri <i>single-grooved slider bearing</i> .....	38
Gambar 4.1	Validasi Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0$ .....	41
Gambar 4.2	Validasi Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,25$ .....	42
Gambar 4.3	Validasi Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,5$ .....	42
Gambar 4.4	Validasi Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,75$ .....	43
Gambar 4.5	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0$ .....	44
Gambar 4.6	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,25$ .....	44
Gambar 4.7	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,5$ .....	45
Gambar 4.8	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,75$ .....	46
Gambar 4.9	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area	

	tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0$ .....	47
Gambar 4.10	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,25$ .....	47
Gambar 4.11	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,5$ .....	48
Gambar 4.12	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,75$ .....	48
Gambar 4.13	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0$ .....	50
Gambar 4.14	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,25$ .....	50
Gambar 4.15	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,5$ .....	51
Gambar 4.16	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,75$ .....	51
Gambar 4.17	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0$ .....	53
Gambar 4.18	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,25$ .....	53
Gambar 4.19	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,5$ .....	54

Gambar 4.20	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,75$ .....	54
Gambar 4.21	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0$ .....	56
Gambar 4.22	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,25$ .....	56
Gambar 4.23	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,5$ .....	57
Gambar 4.24	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,75$ .....	57
Gambar 4.25	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0$ .....	59
Gambar 4.26	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,25$ .....	59
Gambar 4.27	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,5$ .....	60
Gambar 4.28	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,75$ .....	60
Gambar 4.29	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0$ .....	62
Gambar 4.30	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi	

	pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0$ .....	63
Gambar 4.31	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,25$ .....	64
Gambar 4.32	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,5$ .....	66
Gambar 4.33	Distribusi tekanan tak berdimensi untuk variasi lokasi pada inlet fluida adalah area slip yang memasuki area tanpa slip ; $L_a = L_s = 0,5$ ; $d = 0,75$ .....	67
Gambar 4.34	Distribusi tekanan tak berdimensi pada <i>slider bearing</i> $x_s = 0,5$ ; $x_g = 0,2$ .....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Kasus-kasus penelitian.....	30
-----------	-----------------------------	----



## DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Nama	Pemakaian pertama kali pada halaman
BL	<i>Boundary Lubrication</i>	7
ML	<i>Mixed Lubrication</i>	7
HL	<i>Hydrodynamic Lubrication</i>	7
EHL	<i>Elasto-Hydrodynamic Lubrication</i>	7
CFD	<i>Computational Fluid Dynamic</i>	24
MEH	Metode Elemen Hingga	25
MVH	Metode Volume Hingga	25
SG	<i>Single Groove</i>	62
NG	<i>No Groove</i>	68

## DAFTAR LAMBANG

Lambang	Nama	Satuan	Pemakaian pertama kali pada halaman
$C$	Variabel untuk penyederhanaan	[-]	34
$K$	Koefisien slip tak berdimensi	[-]	17
$L_s$	Panjang slip	[-]	19
$L_a$	Panjang tanpa slip	[-]	19
$L_r$	Panjang permukaan bertekstur <i>rectangular</i>	[ $\mu\text{m}$ ]	23
$L_x$	Panjang <i>bearing</i> bertekstur	[ $\mu\text{m}$ ]	23
$L$	Panjang bantalan	[ $\mu\text{m}$ ]	24
$P$	Tekanan	[atm]	4
$Q_{HS}$	Laju aliran tak berdimensi	[-]	19
$R_e$	Bilangan Reynolds	[-]	21
$S$	Panjang <i>dimple</i> relatif	[-]	21
$T$	Temperatur	[ $^{\circ}\text{C}$ ]	4
$T_a$	Area tanpa slip	[-]	19
$T_s$	Area slip	[-]	19
$U_1$	Kecepatan arah x	[m/s]	15
$U_2$	Kecepatan arah y	[m/s]	15
$a$	Amplitudo sinusoidal	[mm]	24
$d$	Jarak posisi slip	[-]	19
$\sigma$	Gaya normal	[GPa]	11
$\tau$	Gaya geser	[GPa]	11
$\mu$	viskositas	[Pa.s]	12
$p$	Tekanan fluida	[GPa]	12
$q_y$	Debit aliran arah sumbu y	[-]	13
$u$	Kecepatan arah x	[-]	12
$v$	Kecepatan arah y	[-]	13

Lambang	Nama	Satuan	Pemakaian pertama kali pada halaman
$w_o$	Debit aliran masuk elemen	[-]	14
$w_h$	Debit aliran keluar elemen	[-]	14
$h$	Ketinggian fluida	[ $\mu\text{m}$ ]	15
$h_i$	Ketinggian film inlet	[ $\mu\text{m}$ ]	31
$h_o$	Ketinggian film outlet	[ $\mu\text{m}$ ]	31
$h_F$	<i>Ketebalan film</i>	[ $\mu\text{m}$ ]	21
$h_D$	Kedalaman <i>dimple</i>	[ $\mu\text{m}$ ]	21
$l_D$	Kedalaman <i>dimple</i>	[ $\mu\text{m}$ ]	21
$l_C$	Kedalaman aus <i>point contact</i>	[ $\mu\text{m}$ ]	21
$x_s$	Panjang slip	[-]	25
$x_g$	Panjang <i>groove</i>	[-]	25
$\lambda$	<i>Dimple</i> aspek ratio	[-]	21
$\rho_T$	Densitas tekstur	[-]	23
$\delta x_{WP}$	Jarak antara nodal W dengan P	[-]	26
$\delta x_{PE}$	Jarak antara nodal P dengan E	[-]	26
$\delta x_{wP}$	Jarak antara titik <i>control volume w</i> dengan P	[-]	26
$\delta x_{Pe}$	Jarak antara nodal P dengan titik <i>control volume e</i>	[-]	26
$\phi$	Flux difusi	[ $\mu\text{m}$ ]	26
$\alpha$	Koefisien slip	[-]	32