

# MODEL *OFF-LINE* UNTUK SIMULASI PROSES PEMURNIAN BAJA DI *VACUUM TANK DEGASSER* (VTD)

**Zulfiadi Zulhan**

Program Studi Teknik Metalurgi, Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha No. 10, Bandung  
E-mail : zulfiadi.zulhan@gmx.de

Masuk tanggal : 04-10-2011, revisi tanggal : 09-07-2012, diterima untuk diterbitkan tanggal : 20-07-2012

## Intisari

**MODEL *OFF-LINE* UNTUK SIMULASI PROSES PEMURNIAN BAJA DI *VACUUM TANK DEGASSER* (VTD).** Teknologi *vacuum tank degasser* (VTD) telah diaplikasikan di industri baja untuk menghasilkan produk baja yang berkualitas tinggi terutama untuk produk-produk yang mempunyai kandungan gas-gas terlarut (hidrogen dan nitrogen) rendah, serta kandungan karbon dan sulfur sangat rendah. Model *off-line* dikembangkan untuk mensimulasikan tahapan proses yang terjadi pada proses VTD yaitu mulai dari ladle tiba di VTD, proses pemvakuman, *flooding* hingga baja selesai diperlakukan di VTD. Selain itu, model ini dapat digunakan sebagai Level 2 pengontrolan proses yang dilakukan secara on-line. Perubahan temperatur, komposisi karbon, gas-gas terlarut, sulfur, serta kemungkinan terjadinya boiling di VTD sebagai fungsi waktu dapat diprediksi dengan model *off-line* ini.

*Kata kunci* : VTD, Degassing, Dekarburisasi, Desulfurisasi, Waktu perlakuan, Boiling

## Abstract

***OFF-LINE MODEL FOR REFINING STEEL PROCESS SIMULATION IN VACUUM TANK DEGASSER (VTD).*** *Vacuum Tank Degasser (VTD) has been applied in industry to produce high quality steel especially for steel products which have low hydrogen and nitrogen contents as well as ultra low carbon and sulphur contents. An off-line model was developed and presented in this paper to simulate process steps to be performed on VTD starting from ladle arriving treatment position, vacuum treatment, flooding till treatment end. Furthermore, this off-line model could be used as Level 2 automation control system for operator guider. Steel temperature, carbon, nitrogen, hydrogen and sulphur contents and the possibility for steel boiling during vacuum treatment can be predicted using this model.*

*Keywords* : VTD, Degassing, Decarburization, Desulphurization, Treatment time, Boiling

## PENDAHULUAN

Teknologi vakum telah berhasil diaplikasikan di industri baja oleh Samarin sekitar tahun 1950<sup>[1]</sup>. Tujuan utama dari pengembangan teknologi vakum pada saat itu adalah untuk mengurangi cacat-cacat, misal cacat retak rambut (*hair crack*), yang diakibatkan oleh gas hidrogen terlarut pada produk-produk ingot baja. Pada pengembangan selanjutnya, cacat-cacat yang diakibatkan oleh inklusi non metalik (oksida dan sulfida) juga harus dikurangi. Pada awal tahun 1980-an, proses

dekarburisasi lanjut (*deep decarburization*) juga dilakukan di proses vakum untuk mendapatkan baja dengan kandungan karbon lebih kecil dari 50 ppm (*ultra low carbon steel*).

Setelah teknologi CCM (*continuous casting machine*) berhasil diaplikasikan pada tahun 1970-an, proses CCM mendikte proses-proses yang dilakukan sebelum CCM, yang dimulai dari proses peleburan dan pemurnian di EAF (*electric arc furnace*) atau BOF (*basic oxygen furnace*), proses pemanasan, pemurnian lanjut serta penambahan unsur pepadu (*alloying*) di

LF (*ladle furnace*), dan proses *degassing* di VTD. Bergantung pada format slab atau billet yang diproduksi, waktu yang dibutuhkan untuk mengecor satu ladle di CCM dapat berkisar antara 30 hingga 60 menit, sehingga waktu yang tersedia untuk proses-proses sebelumnya juga akan berkisar antara 30 hingga 60 menit. Untuk mendisain pabrik VTD dan untuk memprediksi kandungan karbon, oksigen, nitrogen, hidrogen dan sulfur dalam lelehan baja, sebuah model untuk simulasi proses VTD dikembangkan. Model ini dapat digunakan lebih lanjut untuk memandu operator pada saat menjalankan pabrik serta dapat digunakan sebagai dasar untuk *Level 2 Process Control*.

## MODEL PROSES VTD

*Vacuum tank degasser* (VTD), Gambar 1, adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengurangi kandungan nitrogen, hidrogen dan karbon dalam baja dimana *ladle* yang berisi lelehan baja dimasukkan dalam suatu tangki, kemudian ditutup dengan *vacuum tank cover* dan dihubungkan dengan pompa vakum. Penambahan unsur paduan dapat dilakukan selama proses vakum dengan menggunakan dua bin dengan sistem *vacuum lock* di bagian atas (tutup/*cover*) dari tangki. Untuk mengamati permukaan lelehan selama proses pemvakuman, *port* untuk mengintip (*sight glass*) dan / atau video kamera dapat dipasang pada tutup tangki. Selain itu, *lance* oksigen dapat dilengkapi untuk kebutuhan dekarburisasi (*forced decarburization*) dan untuk pemanasan lelehan baja dengan reaksi antara aluminium dan oksigen (*chemical heating*).

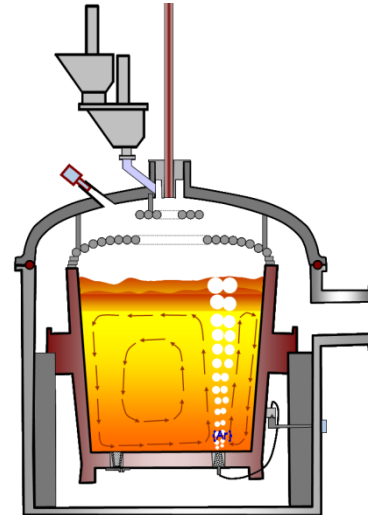
Secara umum, semua jenis baja yang akan diproses di VTD dibagi menjadi empat kelompok perlakuan yaitu:

1. *Degassing*: tahapan yang dilakukan di VTD adalah deoksidasi, pemaduan dan *degassing*,
2. *Light treatment*: proses dilakukan untuk menghilangkan oksigen dengan karbon,

3. *Ultra low carbon steel* – baja IF (*interstitial free*): dekarburisasi, deoksidasi, pemaduan, dan
4. *Ultra low carbon steel* – baja silikon: dekarburisasi, deoksidasi, penambahan silikon

Oleh karenanya, model VTD dibuat dengan mengkombinasikan model temperatur, model dekarburisasi, model deoksidasi, model pemaduan, model *degassing*, model desulfurisasi dan model *boiling (slag foaming)*. *Screen shot* model simulasi VTD diberikan pada Gambar 2.

Prediksi temperatur lelehan baja selama proses vakum dilakukan dengan mempertimbangkan berkurangnya temperatur akibat kehilangan panas ke lingkungan, penambahan unsur-unsur paduan (*alloying*) dan kenaikan temperatur akibat penambahan aluminium untuk deoksidasi. Model empirik pada Tabel 1 digunakan untuk memprediksi penurunan temperatur lelehan baja selama proses vakum. Data empirik ini sangat bergantung pada jumlah lelehan baja dalam *ladle*, dimensi *ladle*, jenis refraktori yang digunakan serta kondisi panas dari refraktori. Temperatur akhir lelehan baja harus dapat memenuhi kriteria temperatur untuk melakukan pengecoran kontinyu (CCM), sehingga model akan menyarankan “*chemical heating*” jika temperatur akhir lebih kecil dari temperatur yang dipersyaratkan oleh CCM. Model *chemical heating* dibuat berdasarkan data pada Tabel 2.



Gambar 1. Vacuum Tank Degasser (VTD)

Date											VD																								
Heat No.	Project:					= edit					• VD																								
Steel Weight	100	[ton]	100,1	Grade: X65					= not edit					• VD-OB																					
Waiting Analysis from Lab		0	min																																
	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Cr	Cu	Mo	Nb	V	Ti	Ca	B	Fe	O	N	Liq.T[°C]																
Max	0,120	0,350	1,650	0,010	0,010	0,050												0,004	RC 1522																
Min	0,080	0,100	1,300			0,030													PC 1520																
Aim	0,1000	0,225	1,475	0,010	0,010	0,040												0,004	HR 1519																
																			Av	1520															
S1	0,100	0,200	1,400	0,008	0,010	0,030											98,6	0,000	0,007																
S2																			Ts 1634																
S3																			OI 114																
Act. C	0,100	0,228	1,474	0,008	0,003	0,030											98,5	0,000	0,004																
Start Temperature		1635	°C																																
Aim Temperature for Casting		60	°C O.Liq																																
Average temperature drop (for Temp Mod1)																			Route 1: Degassing		Route 2: Light Treatment		Route 3: ULC - IF Steel		Route 4: ULC - Si Steel										
0 to 10 minutes		1,9	°C/min																	Slag thickness		mm		1500		99									
10 to 20 minutes		1,7	°C/min																	Slag (kg/ton) =		15,0		initial(%)		add(kg)		pr(kg)		tot(kg)		%			
more than 20 minutes		1,5	°C/min																	FeO						0		0,0							
Temp Drop before/after vacuum		0,5	°C/min																	SiO2		20,5				-172		135		7,5					
Ladle		DIN	VAI																		CaO		56,5		150				998		55,5				
ladle inner height		3450	mm																	Al2O3		8,3				279		403		22,4					
ladle inner upper diameter		3040	mm																	MgO		10,9						164		9,1					
ladle inner lower diameter		2840	mm																	MnO		0,2						3		0,2					
Ladle freeboard		1217	mm																	CaF2		3,1		50				97		5,4					
Number of Ar-plugs		2																		B =		7,39		Sulfur final(ppm)=		24									
Argon stirring rate		250	Liter/min																	Slag(kg/t)		17,99		LS=(%S)/(%S)=		180									
Argon stirring rate		15	Nm3/h																	INCLUSION MODIFICATION															
Degassing		50	2,5																	%Ca		Yield		gr/m		m/min		m		min		%Si			
Hydrogen Start		7	ppm																	CaSi		30		12,5		360		170		0		0,0		60	
Nitrogen Start		67	ppm																	TOTAL		82,5		-1,51		0,02									
Degassing time < 5 mbar		12	min																	Oxygen to blow		5		min after											
Hydrogen End		1,7	ppm																	Oxygen Flow Rate		1500		Nm3/min											
Nitrogen End		39,6	ppm																	Oxygen Yield		85		%											
AI Deoxidation + AI Alloying		<input checked="" type="checkbox"/> No CaO <input type="checkbox"/> CaO.AI2O3 <input type="checkbox"/> 1/2CaO.7AI2O3																																	
Temperature			°C																	Temp Mod1															
a[O]			ppm																	AI for heating															
AI addition (Velikonja's Model)		20	kg																	CaO for heating															
AI addition (Ali, Statistic)		20	kg																	Total AI (alloy,heat,deox)		148		kg											
Temp. Increase De-Ox		0,0	°C																	Oxygen Amount															
Total AI addition for heat., deox, alloy., slag (kg)		148																		O2 blowing time															
																				Ar consump. (Nm3)		10,32		Vacuum time (min)		20,05									
																				Ar consump. (Nm3/t)		0,10		Cycle time single teori (min)		51,05									
																				O2 consump. (Nm3/t)		0,00		Cycle time single practice (min)		61,05									
																								Cycle time twin (min)		30,05									

Gambar 2. Screen shot model simulasi VTD

**Tabel 1.** Laju penurunan temperatur lelehan baja dalam ladle akibat kehilangan panas ke lingkungan

Laju penurunan temperatur sebelum vakum	0,5	°C/min
Laju penurunan temperatur, 0 - 10 menit selama proses vakum	1,9	°C/min
Laju penurunan temperatur 10 - 20 menit selama proses vakum	1,7	°C/min
Laju penurunan temperatur Lebih dari 20 minutes proses vakum	1,5	°C/min
Laju penurunan temperatur setelah vakum	0,5	°C/min

**Tabel 2.** Kenaikan temperatur lelehan baja dengan oksidasi

Unsur	Kenaikan Temperatur dengan Injeksi Oksigen
0,1% aluminium	+ 34°C
0,1% karbon	+ 11°C
0,1% besi	+ 5°C
0,1% mangan	+ 7°C
0,1% silikon	+ 33°C

Model dekarburisasi dan *degassing* dibuat berdasarkan persamaan reaksi kinetika orde satu<sup>[2]</sup>. Konstanta kinetika reaksi untuk dekarburisasi dan *degassing* dapat ditentukan dari data-data lapangan. Kebutuhan oksigen untuk proses dekarburisasi dihitung dengan menggunakan persamaan Vacher-Hamilton<sup>[3]</sup>:

$$[\%C] * [\%O] = 0,0025 * P_{CO} \text{ (atm)}$$

Untuk baja *ultra low carbon*, kandungan oksigen pada akhir dekarburisasi harus lebih besar dari 0,02%. Hubungan antara karbon dan oksigen selama proses vakum untuk kandungan awal oksigen 600 ppm (0,06%) dan karbon 300 ppm (0,03%) diberikan pada Gambar 3.

Penambahan aluminium untuk deoksidasi ditentukan berdasarkan persamaan empirik:

$$\text{Jumlah aluminium (kg)} = (0,01015 + 1,0055 * \text{aluminium final (\%)} - 0,00108 * (\text{aluminium final (\%)} )^2 + 0,00018 * \text{aktivitas oksigen (ppm)}) * \text{berat lelehan baja (ton)} * 10$$

Model pemaduan adalah perhitungan kebutuhan unsur pemadu untuk mendapatkan komposisi baja seperti yang dispesifikasikan dalam produk akhir.

Model pemaduan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mendapatkan kombinasi penambahan material paduan sehingga biaya penambahan material menjadi rendah.

Sulfur tidak dapat dihilangkan dalam suasana vakum menjadi gas, akan tetapi dalam keadaan vakum, kontak antara lelehan baja dan terak dapat berlangsung lebih baik. Jika terak mempunyai kemampuan untuk mengikat sulfur yang baik, maka sulfur akan mudah ditangkap oleh terak. Konstanta laju reaksi berbanding lurus dengan daya pengadukan (*stirring power*)<sup>[4]</sup>:

$$k_s = 0,000597826 * \dot{\epsilon} + 0,005072464$$

Daya pengadukan bergantung pada tekanan di permukaan dari lelehan baja seperti diberikan oleh persamaan berikut<sup>[5]</sup>

$$\dot{\epsilon} = 14.23 \left( \frac{\dot{V} T}{M} \right) \log \left( \frac{1+H}{1.48 P_o} \right)$$

$\dot{\epsilon}$  = daya pengadukan (*stirring power*), watt / ton

$\dot{V}$  = laju alir gas pengaduk (argon), Nm<sup>3</sup>/menit

T = temperatur lelehan, Kelvin

M = berat lelehan, ton

H = ketinggian lelehan baja dalam ladle, m

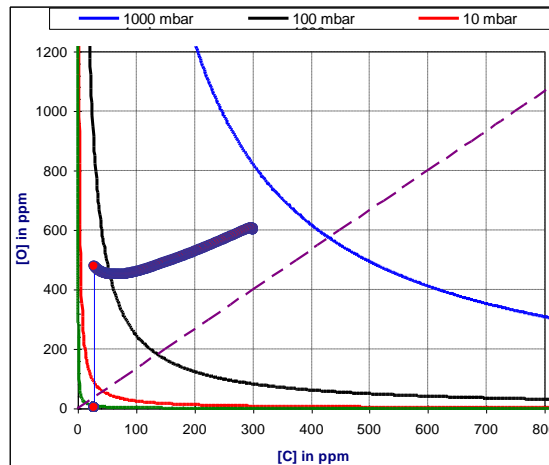
P<sub>o</sub> = tekanan gas di permukaan lelehan, atm

k<sub>s</sub> = konstanta laju desulfurisasi, 1/menit

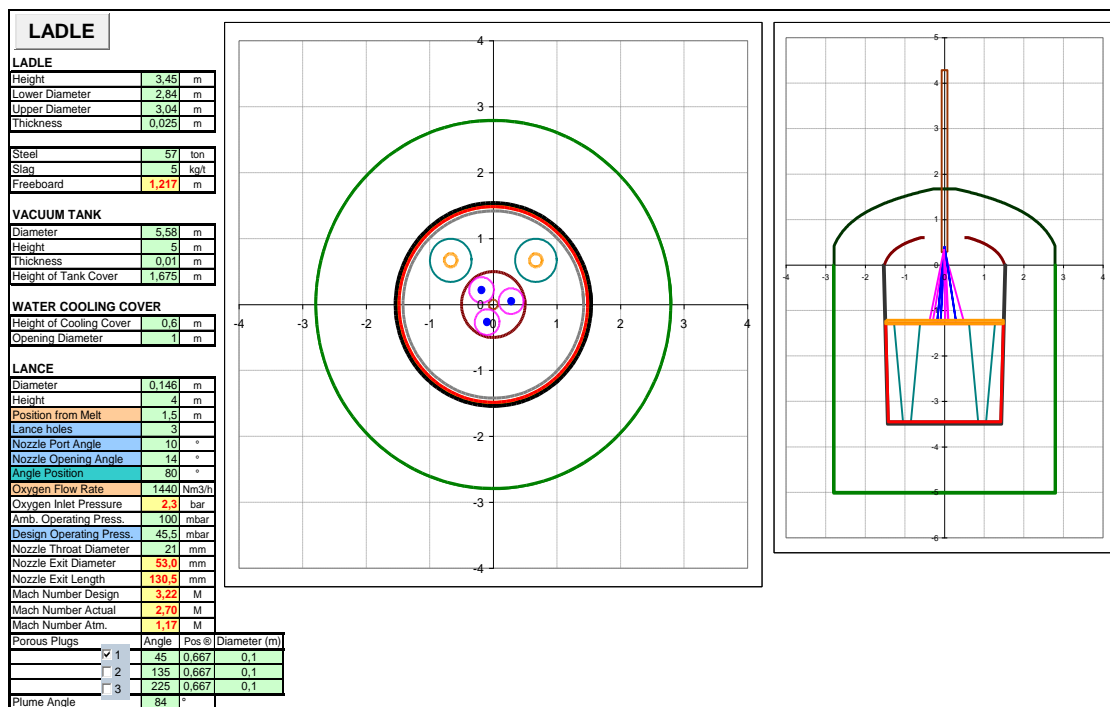
Prediksi kemampuan terak untuk mengikat sulfur (kapasitas sulfida) dan distribusi sulfur di terak dan lelehan baja ditentukan menggunakan model KTH<sup>[6-7]</sup>.

Dimensi ladle digunakan untuk menghitung ladle freeboard. Pada proses

VTD, bergantung pada jenis perlakuan (*treatment*) yang dilakukan, ladle freeboard berkisar antara 800 – 1200 mm. Untuk *degassing*, ladle freeboard dapat berkisar 800 mm, akan tetapi untuk proses dekarburisasi ladle freeboard harus lebih besar dari 1000 mm untuk mengantisipasi terjadinya *boiling* yang dapat menyebabkan lelehan dan terak meluap dari ladle (*sloping*).



Gambar 3. Perubahan komposisi karbon dan oksigen pada saat proses dekarburisasi dalam suasana vakum



Gambar 4. Dimensi ladle, tangki, tutup tangki serta proyeksi aliran argon untuk pengaduk dan proyeksi hot spot dari oksigen yang dihembuskan melalui lance

Ketinggian terak pada saat proses vakum diprediksi dengan menggunakan persamaan “slag foaming index” berikut<sup>[8]</sup> :

$$\Sigma = 570 \frac{\eta}{\sqrt{\sigma * \rho}}$$

$\Sigma$  = slag foaming index, detik  
 $\eta$  = viskositas terak, Pa.s  
 $\sigma$  = tegangan permukaan, N/m  
 $\rho$  = densitas terak, kg/m<sup>3</sup>

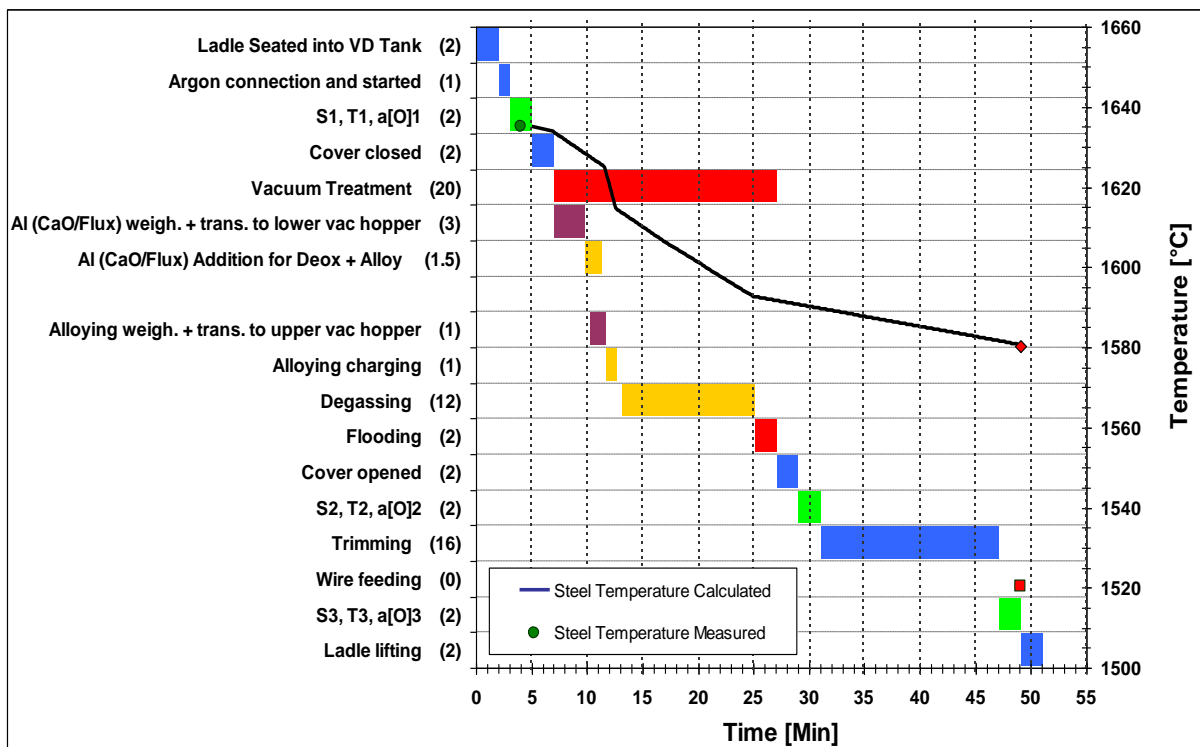
Ketinggian lelehan selama proses vakum diplot bersamaan dengan ketinggian dari bibir *ladle*. Proses dilakukan sedemikian rupa sehingga tinggi permukaan lelehan selalu lebih rendah dari bibir *ladle*, misal dengan mengatur tekanan vakum.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

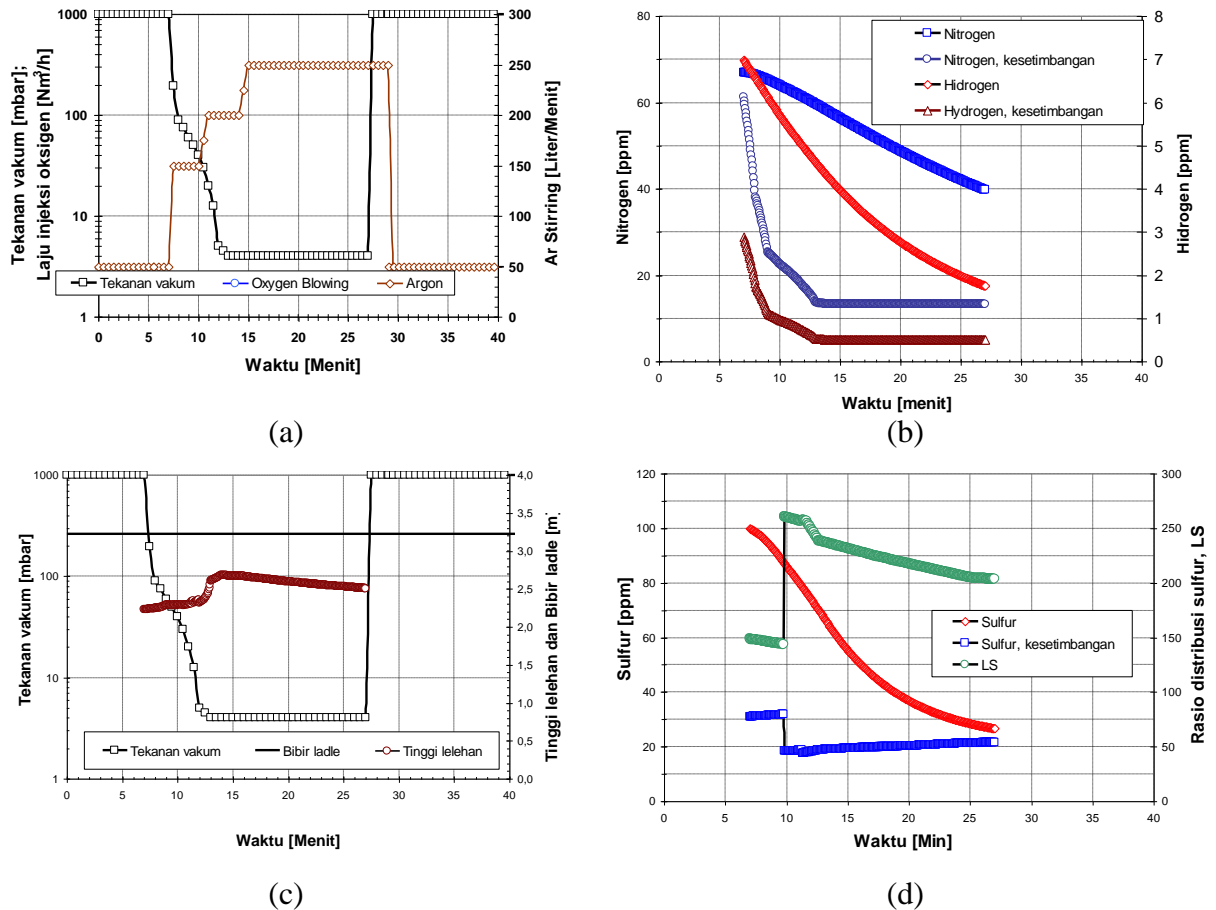
### Rute Degassing

Proses *degassing* dilakukan untuk baja “killed” (baja telah dioksidasi hingga

kandungan oksigen lebih kecil dari 5 ppm dengan menambahkan aluminium) untuk mengurangi kandungan hidrogen dan nitrogen terlarut, misal untuk pipa-pipa API-HIC (*hydrogen induced cracking*) yang mensyaratkan kandungan hidrogen terlarut lebih kecil dari 2 ppm. Tahap-tahap yang dilakukan di VTD, prediksi temperatur dan perkiraan waktu total “*ladle-in*” hingga “*ladle-out*” diberikan pada Gambar 5. Total *treatment time* adalah 51 menit, sehingga untuk format baja yang mempunyai waktu cor (*casting time*) 30-40 menit, satu VTD tidak dapat digunakan untuk melayani CCM. Konsep VTD dengan dua tangki, satu tutup dan satu pompa vakum disarankan untuk dipasang. Selain itu, baja-baja API disarankan untuk tidak dipanaskan dengan “*oxygen blowing*” di VTD karena dapat mengubah komposisi lelehan baja yang telah diset pada proses sebelumnya, misal di *ladle furnace*.



**Gambar 5.** Prediksi temperatur, tahapan *treatment* dan perkiraan waktu yang dibutuhkan dari *ladle* datang hingga *ladle* siap untuk dibawa ke CCM untuk rute *degassing*



**Gambar 6.** (a) Plot tekanan vakum dan laju argon, (b) Prediksi kandungan hidrogen dan nitrogen, (c) Prediksi ketinggian lelehan selama proses vakum, (d) Prediksi kandungan sulfur

Prediksi kandungan hidrogen, nitrogen, sulfur dan ketinggian lelehan selama proses vakum diperlihatkan pada Gambar 6. Secara kesetimbangan termodinamika, kandungan hidrogen dan nitrogen lebih rendah dapat dicapai, tetapi secara kinetika, kandungan nitrogen dan hidrogen yang rendah membutuhkan waktu yang lebih lama. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa dalam suasana vakum, kontak antara lelehan baja dengan terak menjadi lebih intensif sehingga proses desulfurisasi menjadi lebih baik. Kandungan sulfur pada awal proses sekitar 100 ppm dapat dikurangi hingga lebih kecil dari 30 ppm dengan terak yang mengandung 55% CaO, 22% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 8% SiO<sub>2</sub> dan 5% CaF<sub>2</sub>.

Ketinggian lelehan baja awal adalah 2,24 meter dan mencapai maksimum 2,69 meter selama proses vakum (mengalami

peningkatan 0,45 meter). *Ladle freeboard* adalah 0,99 meter sehingga untuk proses *degassing* ini, lelehan tidak meluap. Pada umumnya *boiling* terjadi pada awal proses dimana tekanan permukaan lelehan baja berubah dari 1 atm menjadi 0,1 atm yang disertai dengan pembentukan gas nitrogen dan hidrogen serta reaksi antara SiO<sub>2</sub> dalam terak dengan karbon dalam lelehan baja menghasilkan gas karbon monoksida. Jika terjadi *boiling*, maka tekanan vakum harus diturunkan secara perlahan dan bertahap.

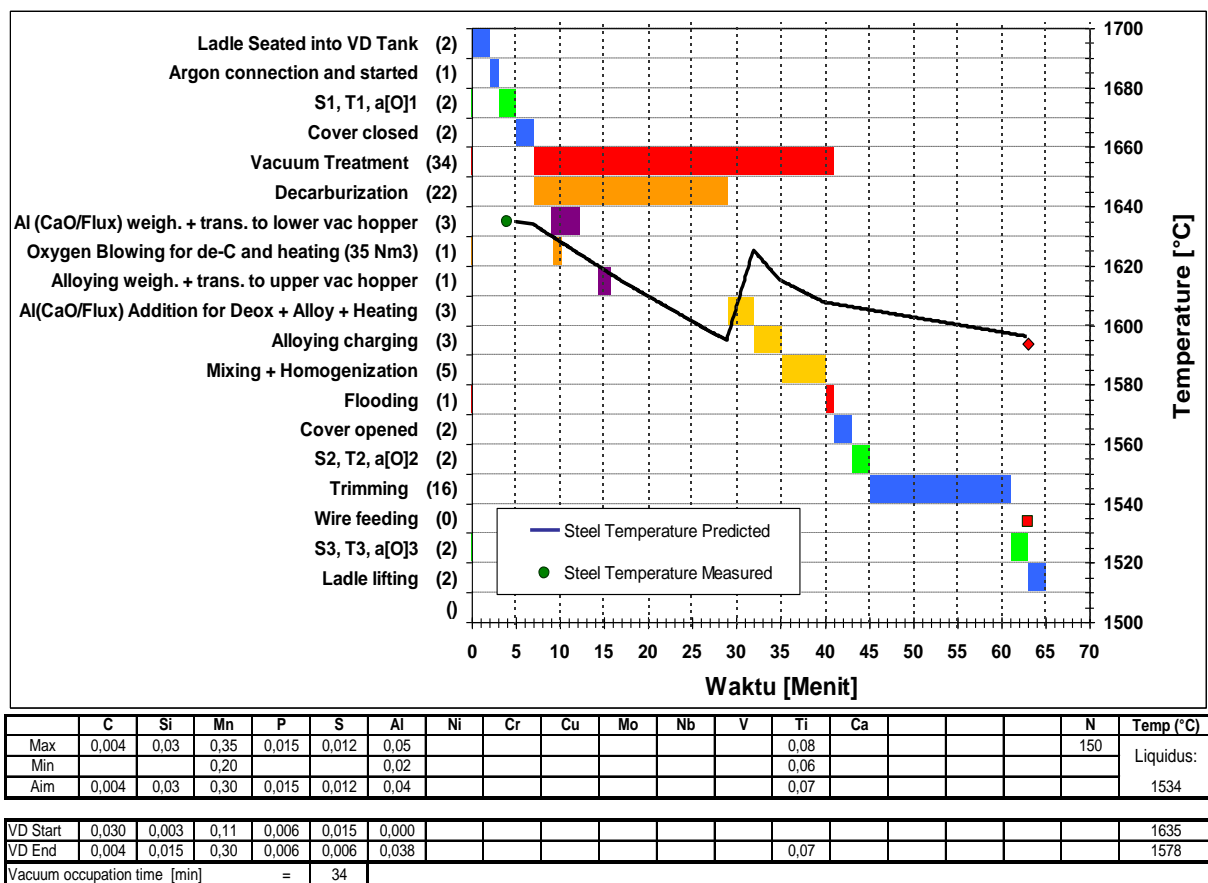
### Rute Dekarburisasi

Proses dekarburisasi dilakukan untuk mendapatkan kandungan karbon yang sangat rendah dalam lelehan baja yaitu lebih kecil dari 30 ppm. Selain itu, proses "*light treatment*" yang tujuannya adalah

untuk menghilangkan oksigen terlarut dalam lelehan baja dengan proses dekarburisasi. Untuk proses *light treatment*, kandungan karbon di akhir proses sekitar 70-200 ppm, bergantung pada kandungan karbon dan oksigen awal. Kandungan karbon di akhir proses BOF atau EAF adalah antara 200-400 ppm. Kandungan karbon yang rendah (<200 ppm) di akhir BOF atau EAF dapat menyebabkan umur pakai refraktori BOF / EAF menurun karena temperatur yang tinggi dan jumlah FeO yang besar dalam terak.

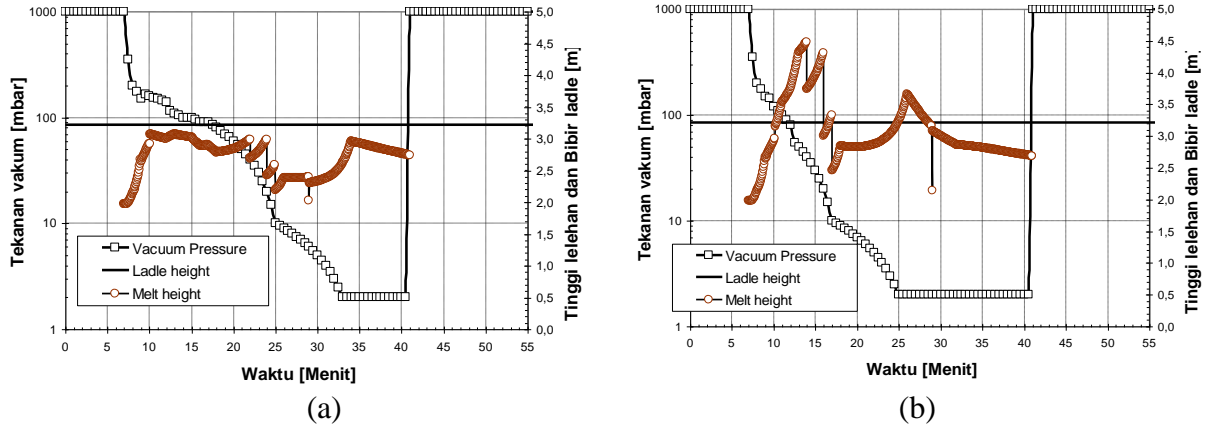
Untuk temperatur awal 1630 °C, kandungan karbon 300 ppm dan oksigen 600 ppm, prediksi temperatur, tahapan *treatment* serta prediksi komposisi lelehan baja diberikan pada Gambar 7. Kandungan karbon setelah 22 menit waktu

dekarburisasi adalah 42 ppm (lebih kecil dari 50 ppm). Kandungan karbon yang rendah membutuhkan waktu dekarburisasi yang lebih lama atau tekanan vakum yang lebih rendah. Keterbatasan yang ditemui pada proses dekarburisasi di VTD adalah terjadinya *boiling* yang besar akibat pembentukan gas karbon monoksida dari proses dekarburisasi. *Ladle freeboard* harus lebih besar dari 1000 mm. Di beberapa pabrik baja, *ladle freeboard* dipersyaratkan antara 1300 – 1400 mm. Selain itu, untuk mengontrol *boiling*, tekanan vakum harus diturunkan pelan-pelan yang dilakukan dengan mengontrol tekanan di permukaan lelehan dengan *vacuum control valve* atau melakukan *flooding* sesaat dengan mengamati permukaan dari lelehan baja melalui video kamera atau *sight port* di *vacuum cover*.



**Gambar 7.** Prediksi temperatur, tahapan *treatment*, perkiraan waktu yang dibutuhkan dari *ladle* datang hingga *ladle* siap untuk di bawa ke CCM serta komposisi baja untuk rute dekarburisasi (baja grade ULC-IF)





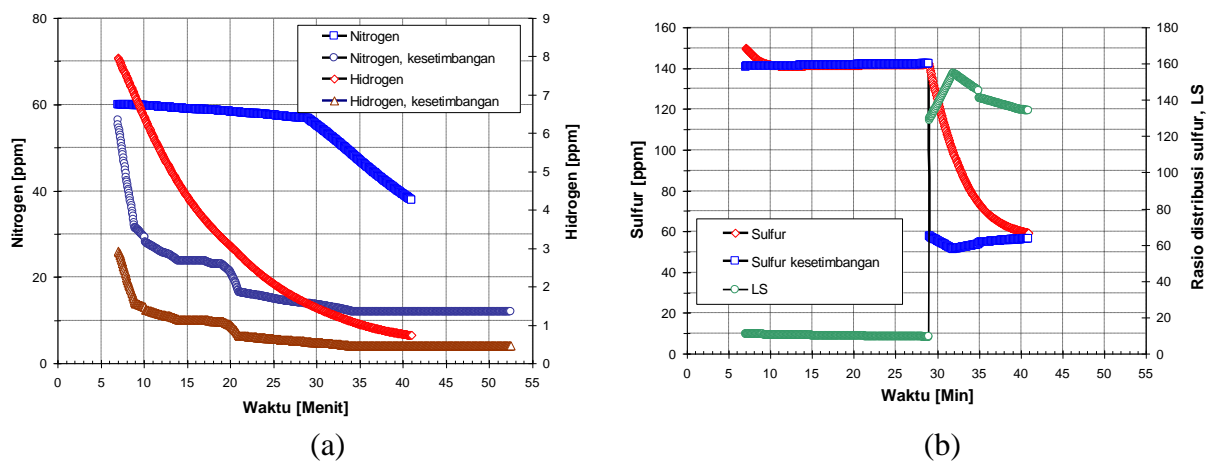
**Gambar 8.** Prediksi ketinggian lelehan dengan dan tanpa kontrol vakum; (a) Dengan kontrol vakum, karbon setelah dekarburisasi adalah 42 ppm dan (b) Tanpa kontrol vakum, karbon setelah dekarburisasi adalah 29 ppm



**Gambar 9.** Lelehan baja dan terak yang menempel di permukaan dalam *ladle cover* dan di bibir *ladle*

Gambar 8 memperlihatkan prediksi ketinggian lelehan pada saat proses vakum dengan dan tanpa *vacuum control*. Dengan *vacuum control*, Gambar 8a, ketinggian lelehan selama proses dapat lebih rendah dari bibir *ladle* sehingga frekuensi lelehan baja tumpah ke luar *ladle* dapat diminimalkan. Tanpa mengontrol tekanan di permukaan baja, Gambar 8b, pada awal proses dekarburisasi, ketinggian lelehan baja dapat mencapai 4,48 meter (1,2 meter

lebih tinggi dari bibir *ladle*). Dengan pola operasi ini kandungan karbon dapat mencapai 29 ppm setelah 22 menit dekarburisasi, akan tetapi pola operasi seperti ini tidak nyaman dan cenderung berbahaya yang berakibat pada rusaknya bibir *ladle*, terputusnya aliran argon dan jumlah baja yang menempel di bagian dalam permukaan tutup *ladle cover* menjadi banyak seperti diperlihatkan pada Gambar 9.



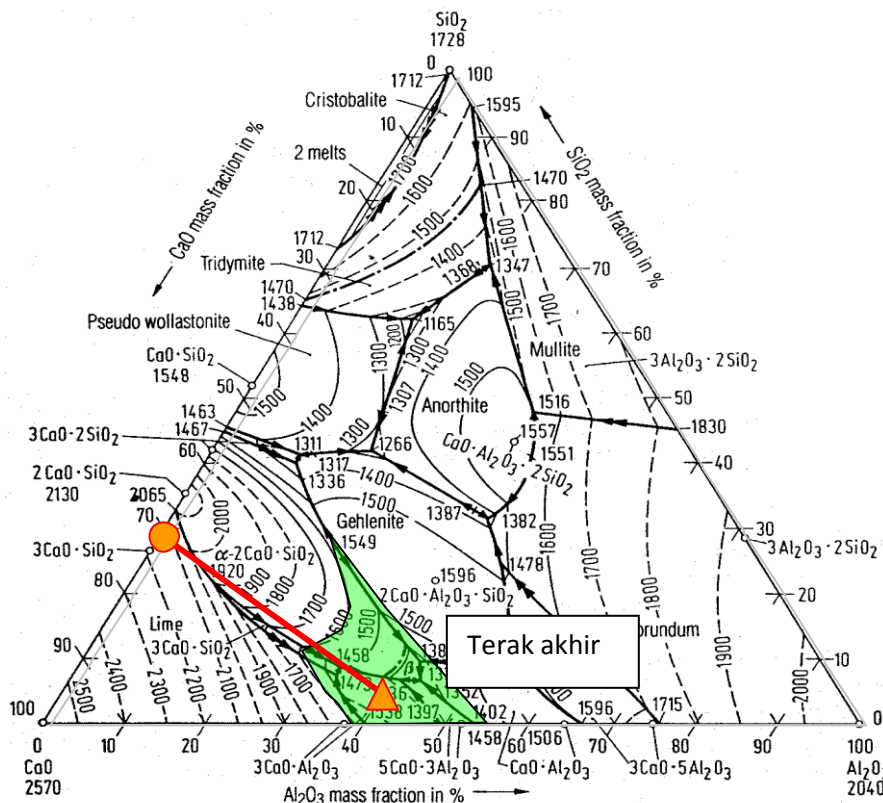
**Gambar 10.** (a) Prediksi kandungan nitrogen dan hidrogen, (b) Prediksi kandungan sulfur

Prediksi kandungan nitrogen, hidrogen, dan sulfur diperlihatkan pada Gambar 10. Sulfur dapat diturunkan konsentrasinya dengan mengubah suasana oksidatif menjadi reduktif serta dengan mengatur komposisi terak. Alumina terbentuk pada penambahan aluminium untuk proses deoksidasi. Jumlah oksigen yang harus dihilangkan adalah 932 ppm. Untuk jumlah lelehan 90 ton, maka dengan menggunakan simulasi model ini, jumlah CaO yang harus ditambahkan dapat ditentukan untuk menghasilkan terak desulfurisasi yang baik. Komposisi terak akhir diperlihatkan pada Gambar 11 dengan menambahkan 350 kg CaO. Kandungan sulfur dapat turun dari 140 ppm menjadi lebih kecil dari 60 ppm.

Kandungan nitrogen dalam lelehan baja dapat turun jika kandungan oksigen dan sulfur telah rendah. Oleh karenanya, seperti diperlihatkan pada Gambar 10a, kandungan nitrogen turun setelah proses deoksidasi yang diikuti dengan proses

desulfurisasi. Kandungan hidrogen terlarut dapat lebih kecil dari 1 ppm karena sebagian hidrogen dapat menjadi gas seiring dengan proses dekarburisasi yang mempunyai efek untuk menurunkan tekanan parsial hidrogen dan memberikan pengadukan (*stirring*) yang lebih baik.

Seperti dijelaskan sebelumnya, reduksi SiO<sub>2</sub> dengan karbon dapat berlangsung selama proses vakum yang dapat menyebabkan kenaikan silikon dalam lelehan baja (*silicon pick-up*). Untuk baja-baja bebas silikon (*silicon free*), kandungan SiO<sub>2</sub> dan jumlah terak harus diperhatikan. Untuk pembuatan baja silikon dengan kandungan karbon sangat rendah, setelah proses dekarburisasi diikuti oleh penambahan ferrosilikon atau silikon metal dengan jumlah yang banyak untuk mendapatkan kandungan silikon dalam baja antara 2-4%. Proses penambahan dan pengadukan ferrosilikon atau silikon metal harus dilakukan dalam suasana vakum untuk mempercepat proses pelarutan.



Gambar 11. Komposisi akhir terak di VTD

Perbandingan hasil prediksi model VTD ini dengan salah satu *heat* dari proses VTD pada salah satu industri baja di Jerman diberikan pada Tabel 3, dimana terlihat bahwa prediksi model mendekati data dari industri.

**Tabel 3.** Kenaikan temperatur lelehan baja dengan oksidasi

Parameter	Data industri	Prediksi model
Karbon	0,004%	0,0038%
Sulfur	0,0029%	0,0032%
Temperatur	1603°C	1599°C
Jumlah aluminium yang ditambahkan	448 kg	465 kg

## KESIMPULAN

Model untuk simulasi proses di *vacuum tank degasser* (VTD) telah dikembangkan untuk memudahkan disain dan pengoperasian VTD. Model simulasi ini merupakan gabungan dari model temperatur, model dekarburisasi, model deoksidasi, model *degassing*, model desulfurisasi, model *alloying* dan model *slag foaming*. Sebagian model tersebut telah diverifikasi oleh peneliti terdahulu dan sebagian merupakan model empirik yang harus dilakukan *fine-tuning* pada saat menjalankan pabrik, terutama besaran laju penurunan temperatur dan konstanta kinetika, yang bergantung pada berat lelehan, kondisi *ladle*, refraktori dan *lay-out* pabrik. Model simulasi ini dapat digunakan sebagai prediksi kelayakan proses untuk menghasilkan baja *grade* tertentu serta persyaratan-persyaratan yang dibutuhkan sehingga baja tersebut dapat berhasil di-*treatment*. Contoh aplikasi simulasi proses untuk *degassing* dan dekarburisasi telah diuraikan dan dibahas. Dengan simulasi, fenomena *boiling* yang sering terjadi selama proses dekarburisasi di VTD dapat diprediksi serta kemungkinan untuk pengendaliannya dapat diantisipasi dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]Stolte, G. 2002. Secondary Metallurgy, Fundamentals Processes Applications. Duesseldorf: Stahleisen.
- [2]Janke, D. 1987. Metallurgische Grundlagen der Vakuumbehandlung von Stahlschmelzen. *Stahl und Eisen*. : 19, 867-874.
- [3]Knueppel, H. 1970. Desoxydation und Vakuumbehandlung von Stahlschmelzen. Duesseldorf: Stahleisen.
- [4]Lachmund, H., Y. Xie. 2003. „High Purity Steels: A Challenge to Improved Steelmaking Processes”. *Ironmaking and Steelmaking*. : 2,125-129.
- [5]Kor, G.J.W., P.C. Glaws. 1998. „Ladle Refining and Vacuum Degassing”. Chapter 11 dalam buku The Making, Shaping and Treating of Steel. Pittsburgh: the AISE Steel Foundation.
- [6]Nzotta, M.M., D. Sichen, S. Seetharaman. 1998. „Sulphide Capacities in Some Multi Component Slag Systems”. *ISIJ International*. : 11,1170-1179.
- [7]Anderson, M.A.T., P.G. Joensson, M.M. Nzotta. 1999. „Aplication of the Sulphide Capacity Concept on High-Basicity Ladle Slags Used in Bearing-Steel Production”. *ISIJ International*. : 11, 1140-1149.
- [8]Jiang, R., R.J. Fruehan. 1991. „Foaming in Bath Smelting”. *Metallurgical Transaction B*. : 22, 481-489.

## RIWAYAT PENULIS

**Zulfiadi Zulhan**, lahir di Aceh Utara, S1 Option Metalurgi Teknik Pertambangan ITB, S2 Rekayasa Korosi Teknik Pertambangan ITB, S3 Institute for Ferrous Metallurgy, RWTH Aachen Germany. Mendapat Ludwig von Bogdandy - prize

award pada tahun 2006 dan Borchersplakette - award pada tahun 2008 dari RWTH Aachen Germany. Bekerja sebagai metallurgist di SIEMENS VAI Metals Technologies GmbH Duisburg Germany pada tahun 2006-2009. Dosen tetap di Program Studi Metalurgi FTTM-ITB.