

Penerapan TMCP di PT. Krakatau Steel: Suatu Strategi untuk Mengurangi Penggunaan Unsur Paduan

Akhmad A. Korda*, Eddy A. Basuki*, Amung Somantri**, Zaenal A. Muslim**

* Prodi T. Metalurgi ITB, ** PT. Krakatau Steel
akhmad@mining.itb.ac.id

Abstrak

PT. Krakatau Steel saat ini telah berhasil menghasilkan produk baja high strength low alloy (HSLA) dengan kualitas setara dengan API 5L X60, X65, dan X70 dalam bentuk hot rolled coil untuk berbagai keperluan diantaranya adalah untuk pipa transmisi minyak dan gas bumi. Untuk menghasilkan baja HSLA tersebut PT. Krakatau Steel telah menerapkan thermo-mechanical controlled process (TMCP) dengan melibatkan beberapa unsur paduan mikro seperti Cu, Ni, C, Nb, V, Al dan Ti.

Pada semester kedua tahun 2010, PT. Krakatau Steel melakukan program revitalisasi terhadap fasilitas di hot strip mill (HSM) untuk memperbaiki atau menambah kendali namun tidak ditujukan untuk meningkatkan kapasitas motor mesin canai (rolling stand), down coiler, dan crop shearing cutting device serta belum meningkatkan intensitas pendinginan laminar sehingga proses accelerated cooling belum bisa diterapkan. Dengan demikian untuk memproduksi kelas baja HSLA seperti API 5LX masih tetap mengandalkan penambahan unsur paduan. Dalam kaitian tersebut, perlu dilakukan suatu evaluasi mengenai kemungkinan menghasilkan baja HSLA setara kualitas API X65 dengan melibatkan unsur paduan yang lebih sedikit menggunakan fasilitas dan peralatan yang ada, mengingat harga unsur paduan yang semakin mahal. Hasil yang diharapkan adalah penghematan biaya dalam konsumsi unsur paduan dan perlunya mempertimbangkan dilakukannya perbaikan atau penambahan fasilitas yang telah ada saat ini untuk menghasilkan baja HSLA X65 secara konsisten.

Parameter-parameter operasi yang diterapkan di HSM PT. KS dan kapasitas peralatan di HSM akan dipelajari dan dievaluasi, demikian juga dengan laporan dan data yang terkait dengan kontrol kualitas produk hasil produksi masal atau trial seperti hasil pengujian komposisi kimia, sifat mekanik dan struktur mikro. Data-data tersebut kemudian dianalisis, dievaluasi dan dilakukan bench marking dengan produk-produk baja sejenis dari berbagai industri baja lain serta hasil penelitian dan literatur yang ada.

Kata kunci: TMCP, API, hot strip mill, high strength low alloy steel

I. Pendahuluan

Fasilitas hot strip mill milik PT. Krakatau Steel saat ini telah berhasil menghasilkan produk baja yang telah masuk dalam kualitas X60, X65, X70 bahkan ada beberapa yang telah masuk kriteria untuk X80. Untuk menghasilkan baja tersebut PT. Krakatau Steel telah mempraktekkan TMCP untuk memproduksi baja HSLA dengan melibatkan beberapa unsur paduan mikro seperti Cu, Ni, Cr, Nb, V, Al dan Ti.

Namun demikian hasil ini dianggap masih belum memberikan kepastian suatu kualitas produk. Oleh sebab itu, untuk mendapatkan produk hot rolled coil baja dengan kualitas

yang lebih baik dan terjamin kepastian kualitasnya maka PT. Krakatau Steel merasa perlu untuk melakukan program revitalisasi pada fasilitas *hot strip mill* untuk proses *thermomechanical controlled process* (TMCP). Pada semester kedua tahun 2010, PT. Krakatau Steel melakukan program revitalisasi terhadap aset-aset di pabrik pencanaian panas. Program revitalisasi ini pada prinsipnya tidak merubah parameter operasi ataupun meningkatkan kapasitas dari pabrik pencanaian panas namun ditujukan untuk memperbaiki atau menambah control proses pada pabrik tersebut seperti otomasi pendinginan, *control temperature* dan lain sebagainya. Selain itu juga akan ditambahkan perangkat lunak yang dapat memprediksi struktur mikro yang terbentuk. Tabel 3.1 memperlihatkan perubahan atau perbaikan yang dilakukan pada program revitalisasi ini.

Tabel 1 Perubahan atau perbaikan yang dilakukan pada program revitalisasi fasilitas *hot strip mill* PT. Krakatau Steel.

Area	Item Yang Diperbaiki	Sebelum Revitalisasi	Sesudah Revitalisasi
Furnace	Kontrol temperatur furnace	Manual	Otomasi level 2
Roughing	Kontrol temperatur roughing	Semi otomatis	Otomasi level 2
	Automatic width control	Tidak digunakan	Offset 10 mm running
	Potongan crop shear	Panjang ekor lebih pendek	As it is
Finishing	Work roll cooling	Tidak ada anti peeling	Jumlah nozzle ditambah, ada anti peeling
	F1 – F3 work roll shifting block	Tidak ada	Ada
	F1 – F6 CVC work roll	Tidak ada	Ada
	Laminar cooling	Manual	Otomatis (debit masih sama, spray lebih seragam)
Down coiler	Down coiler	Tebal hingga 25 mm	Tebal hingga 25 mm

Dalam program revitalisasi ini beberapa peralatan dan fasilitas telah diperbaiki. Kontrol temperatur *reheating furnace* yang sebelumnya dilakukan secara manual saat ini telah dapat dilakukan secara otomatis (Level 2). Demikian pula control temperatur di *roughing mill*. Perbaikan juga dilakukan pada width control serta melengkapi fasilitas di *finishing rolling* seperti memperbanyak jumlah *nozzle*, melengkapi anti-peeling, hingga perbaikan pada fasilitas *laminar cooling*. Dalam *laminar cooling* ini intensitas pendinginannya sama dengan sebelum revitalisasi namun demikian dalam revitalisasi telah diterapkan otomasi sehingga diharapkan lebih homogen dan temperatur coiling lebih konstan. Waktu dari *finishing* hingga coiling berkisar antara 20 hingga 40 detik (kurang dari 1 menit).

Pemilihan grade API X65 sebagai target didasarkan pada kondisi pasar yang paling banyak menginginkan pipeline baja dengan grade tersebut serta melihat kenyataan bahwa untuk mendapatkan grade X65 ini di PT. Krakatau Steel telah melibatkan lima unsur padu yaitu Ti, Nb, Ni, Cu, Cr. Pengurangan unsur paduan dapat menurunkan biaya dalam konsumsi unsur padu. Sementara itu perbaikan atau penambahan fasilitas dari yang telah ada saat ini mungkin perlu dilakukan untuk menghasilkan baja HSLA X65 secara konsisten. Rancangan paduan di PT. KS yang digunakan untuk memproduksi baja spesifikasi API X65, contoh komposisi kimia berdasarkan persyaratan dari konsumen serta persyaratan menurut API diperlihatkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Rancangan paduan API X65 PT. KS dan contoh batasan komposisi dari konsumen terhadap kandungan beberapa unsur paduan untuk API X65

Unsur	Batasan Komposisi (%) Rancangan PT. KS	Contoh Batasan Komposisi (%) dari konsumen	Persyaratan API X65 (PSL 2) - Welded
C	0.05 - 0.07		0.22 max
Mn	1 - 1.2	1.55 max	1.45 max
Si	0.2 - 0.3		
S	0.005 max		0.015 max
P	0.01 max	0.01 max	0.025 max
Ni	0.2 - 0.3	0.5 max	
Cr	0.1 - 0.2	0.5 max	
Nb	0.045 - 0.055	0.06 max	
V	0.07 - 0.08	0.1 max	
Cu		0.35 max	
Ti		0.06 max	
Mo		0.5 max	

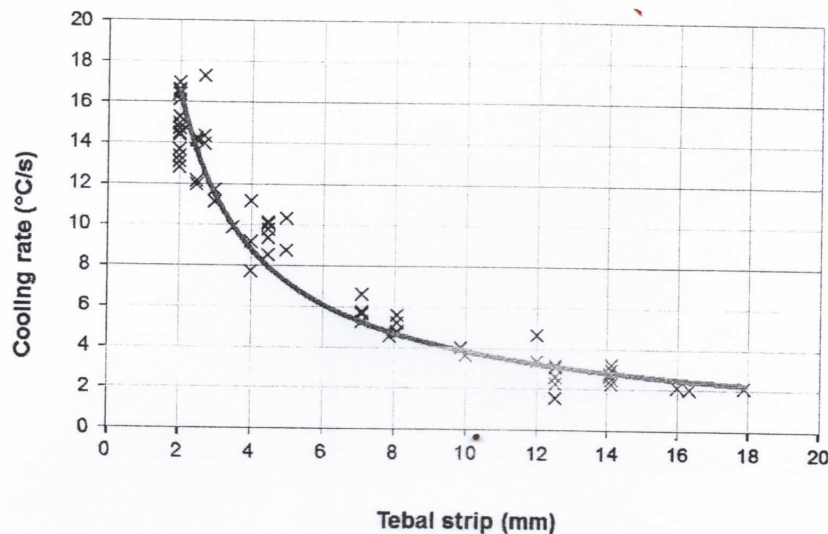
II. Proses Pencanaan Panas di HSM PT. KS Untuk Target API X65

2.1. Reduksi di Hot Strip Mill

Setelah melewati *roughing mill*, baja selanjutnya direduksi ketebalannya di *finishing rolling mill*. Lembaran baja sebelumnya memasuki *finishing rolling mill* dipotong terlebih dahulu di fasilitas *shearing line*. Saat ini untuk produksi masal, fasilitas *shearing line* mampu memotong lembaran baja hingga 45 mm. Secara umum untuk memberikan deformasi yang optimum, ketebalan lembaran baja saat memasuki *finishing rolling mill* adalah tiga kali ketebalan akhir lembaran baja saat keluar dari *finishing rolling mill*. Sebagai contoh untuk target ketebalan akhir lembaran baja 15 mm maka ketebalan saat masuk *finishing rolling mill* adalah sekitar 45 mm.

2.2. Laju Pendinginan di Hot Strip Mill

Fasilitas pendinginan di HSM menerapkan prinsip *laminar spray cooling* dengan sepuluh buah *nozzle*. Tidak terdapat peningkatan kapasitas pendinginan dari kondisi sebelum revitalisasi. Dengan demikian laju pendinginan sangat terkait dengan ketebalan lembaran baja yang diproduksi. **Gambar 1** memperlihatkan hubungan ketebalan lembaran baja canai panas dan laju pendinginan. Berdasarkan data yang diperoleh, ketebalan HRC untuk aplikasi pipa API X65 memiliki rentang antara 9,45 – 17,7 mm. Dengan demikian, melalui data tersebut dapat diperkirakan laju pendinginan yang dialami oleh material baja API setelah melewati finishing rolling yaitu 2 - 4°C/detik.



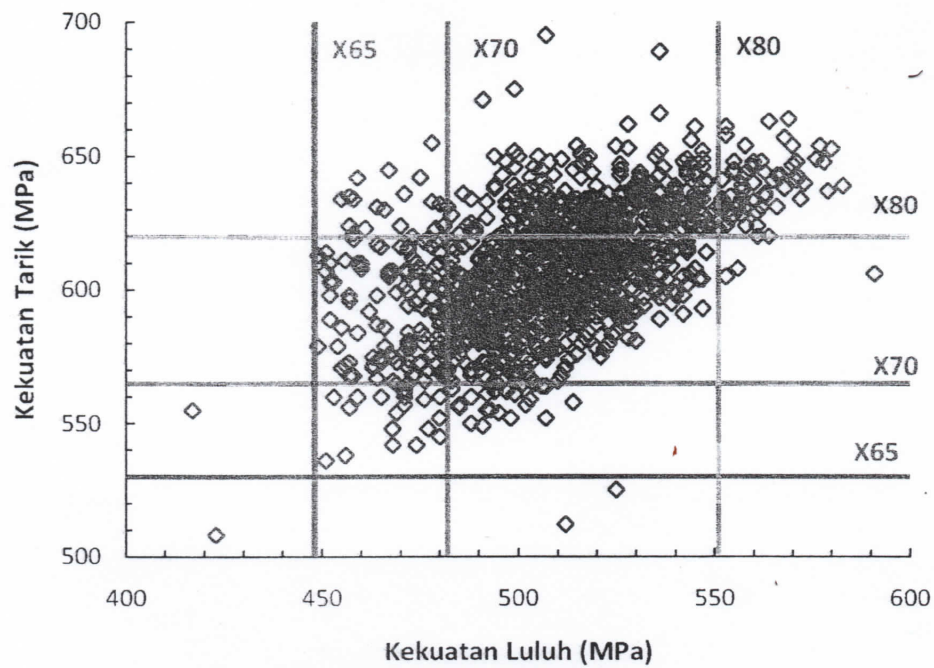
Gambar 1 Tipikal laju pendinginan lembaran baja canai panas di fasilitas *finishing rolling mill* HSM PT. Krakatau Steel

2.3. Sifat Mekanik Baja dengan Target Spesifikasi API X65

Gambar 2 memperlihatkan grafik hubungan antara kekuatan tarik dan kekuatan luluh untuk baja dengan target spesifikasi API X65. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa kekuatan luluh untuk target baja API X65 dengan kekuatan luluh 448 MPa dan kekuatan tarik 531 MPa hampir secara keseluruhan dilampaui. Pada gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa bahkan untuk target API X65, sebagian besar sifat mekanik baja juga telah memasuki spesifikasi API X70 dan sebagian kecil telah memasuki spesifikasi API X80.

2.4. Hubungan Sifat Mekanik Baja dengan Laju Pendinginan

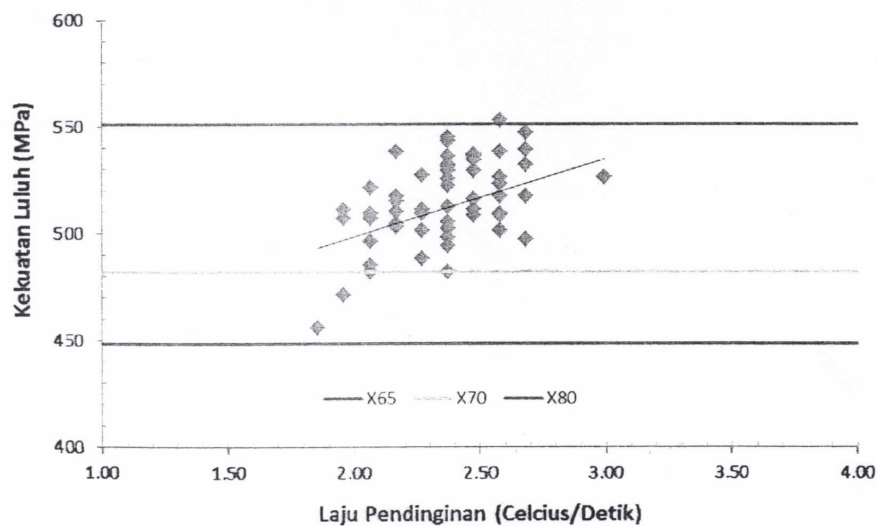
Sifat mekanik baja hasil proses TMCP sangat dipengaruhi oleh laju pendinginan yang diterapkan. **Gambar 3** memperlihatkan hubungan laju pendinginan dan kekuatan luluh untuk baja target spesifikasi API X65 untuk produksi lembaran bajadi HSM PT. KS dengan ketebalan 16 mm.



Gambar 2 Grafik hubungan kekuatan tarik dan kekuatan luluh baja dengan target spesifikasi API X65

2.5. Komposisi Kimia Baja Target Spesifikasi API X65

Tabel 3 memperlihatkan persen rata-rata komposisi kimia baja produksi PT. KS untuk target spesifikasi API X65 untuk berbagai ketebalan dari ketebalan 8 mm hingga 22 mm.



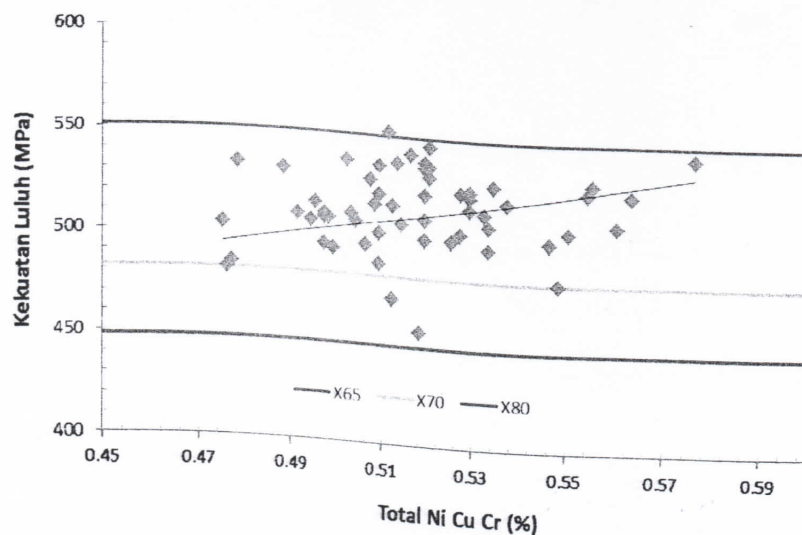
Gambar 3 Hubungan laju pendinginan dan kekuatan luluh untuk baja target spesifikasi API X65 dengan ketebalan 16 mm

Tabel 3 Rata-rata komposisi baja PTKS untuk target spesifikasi API X65

Unsur	% berat
C	0,060
Si	0,259
Mn	1,073
P	0,008
S	0,003
Al	0,038
N	0,004
Cu	0,161
Ni	0,237
Cr	0,122
Mo	0,005
V	0,073
Nb	0,050
Ti	0,003

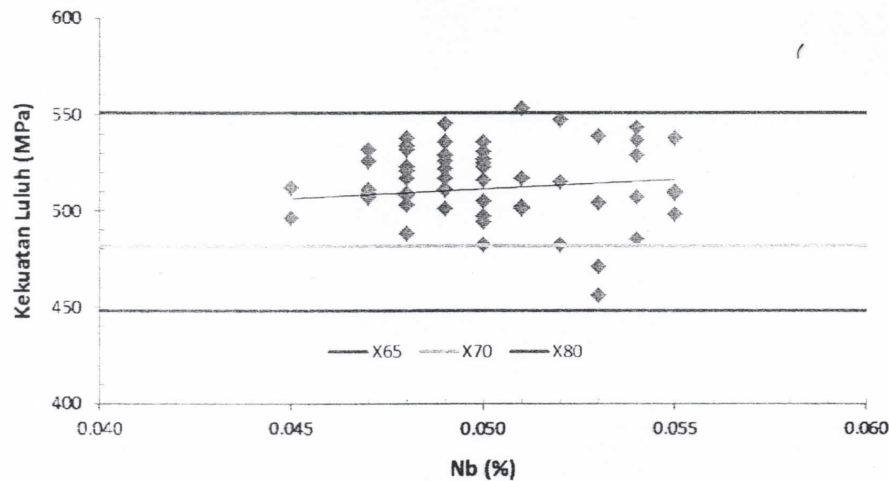
2.6. Hubungan Sifat Mekanik Baja dengan Komposisi Kimia Baja API X65

Gambar 4 memperlihatkan hubungan kekuatan luluh untuk baja target spesifikasi API X65 terhadap persen kandungan total Ni-Cu-Cr untuk lembaran baja dengan ketebalan 16 mm.



Gambar 4 Hubungan kekuatan luluh terhadap persen kandungan total Ni-Cu-Cr untuk baja target spesifikasi API X65 dengan ketebalan 16 mm

Gambar 5 memperlihatkan hubungan kekuatan luluh untuk baja target spesifikasi API X65 terhadap persen kandungan Nb untuk lembaran baja dengan ketebalan 16 mm.



Gambar 5 Hubungan kekuatan luluh terhadap persen kandungan Nb untuk baja target spesifikasi API X65 dengan ketebalan 16 mm

2.7. Struktur Mikro Baja API X65

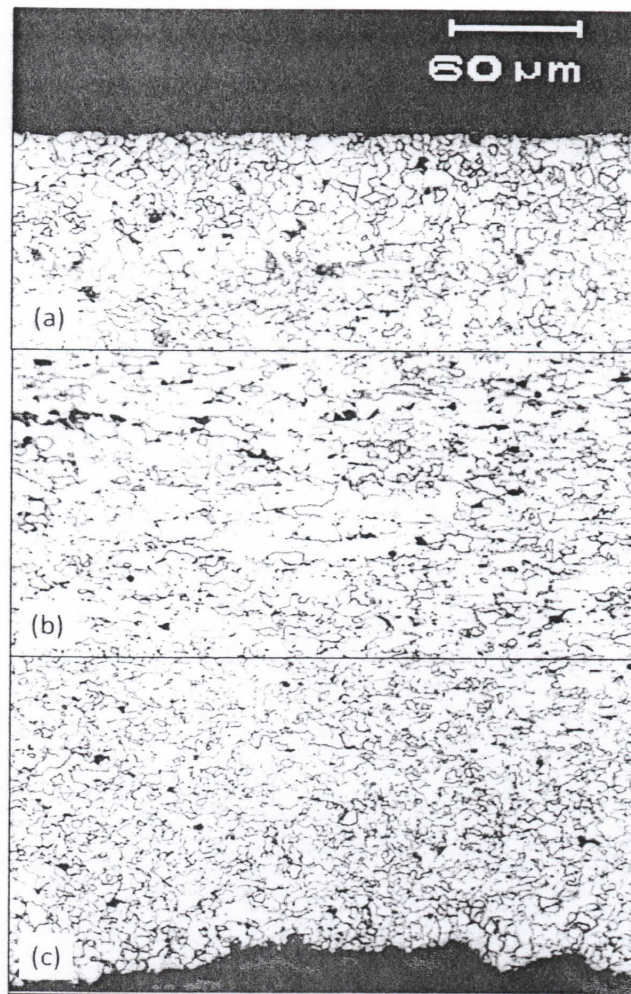
Struktur mikro baja lembaran HRC yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia dan parameter produksi seperti laju pendinginan serta persen reduksi. **Gambar 6** memperlihatkan struktur mikro baja lembaran target spesifikasi API X65. Pada gambar tersebut memperlihatkan struktur mikro pada posisi permukaan atas, tengah dan permukaan bawah. Struktur mikro pada permukaan atas dan bawah memiliki ukuran butiran yang lebih halus dibandingkan pada bagian tengah. Butiran pada bagian permukaan memperlihatkan struktur butiran *acicular ferrite* sementara pada bagian tengah memperlihatkan struktur elongated ferrite dan sedikit *acicular ferrite*.

III. Bench Marking dan Analisis TMCP PT. KS

3.1. Bench Marking TMCP Steel

Berdasarkan beberapa *bench marking* yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa intisari penting sebagai berikut:

1. Penerapan *thermomechanical treatment* terhadap baja Nb-V karbon rendah menggantikan praktek *hot rolling* dan normalizing untuk menghasilkan peningkat kekuatan baja dari X52 menjadi X65 dan X70. Untuk menghasilkan baja X80 kemudian dilakukan perbaikan proses mencakup proses *rolling* dan *accelerated cooling* dengan penurunan karbon lebih lanjut sehingga weldability juga meningkat. Penambahan Mo, Cu dan Ni dapat meningkatkan kekuatan untuk mendapatkan grade yang lebih tinggi yaitu X80 dan X100.



Gambar 6 Struktur mikro baja API X65 pada lokasi (a) permukaan atas (b) setengah tebal dan (c) permukaan bawah

2. Dalam kurun tahun 1970 – 80-an merupakan kurun dimana banyak dilakukan perbaikan dalam steelmaking dan refining yang berakibat pada disain paduan dan teknologi *microalloying* niobium. Selain itu, hampir semua teknologi *ingot casting* beralih ke *continuous casting*, kemudian mulai dilakukannya ladle refining yang memungkinkan dilakukannya desulfurisasi, dekarburisasi, calcium *treatment* dan produksi baja kekuatan dan ketangguhan tinggi serta clean steel. Perbaikan terhadap ketangguhan dihasilkan oleh penurunan kandungan belerang yang rendah untuk pipa *sour service* hingga 0,002% dan bahkan lebih rendah lagi pada pengembangan di tahun-tahun 80-an. Untuk baja ini kandungan Mn dikurangi untuk meminimalisasi segregasi serta kandungan Nb ditingkatkan hingga kira-kira 0,04% untuk meningkatkan kekuatan dan ketangguhan takik. Tipikal baja X60 tahun 1980-an yang diaplikasikan untuk beberapa proyek pipeline di Saudi Arabia dan di North Sea yang mengandung C = 0,07% mengandalkan Nb sebesar 0,04%

dan Ti sebesar 0,012%. Dengan N sebesar 0,005% kandungan Al-nya dijaga pada level 0,03%. Perlu dicatat bahwa bila kandungan karbon diturunkan lebih lanjut misalnya menjadi 0,03%C, maka memungkinkan dilakukannya sedikit peningkatan kandungan Nb menjadi 0,1% untuk mendapatkan grade X70 dengan komposisi lainnya tetap.

3. Di Amerika Utara, komposisi kimia baja untuk pipeline X65/X70 adalah berdasarkan pada komposisi Nb+Ti(Mo)(V). Di bagian Negara-negara lain dominannya adalah berkomposisi Nb+V. Pada tahun-tahun terakhir baja dengan komposisi Nb+Ti adalah yang paling dominan. Di Amerika Utara, komposisi berdasar Nb+Ti+Mo dikembangkan untuk X80 dengan level Nb antara 0,06 - 0,09%. Di Eropa, Rusia, China dan beberapa tempat lainnya terdapat kecenderungan yang kuat untuk memanfaatkan peran Nb semaksimal mungkin termasuk menggantikan Mo dan V yang mahal untuk mendapatkan grade X70. Konsekuensinya Nb menjadi lebih tinggi (hingga 0,1%). Keuntungan lain dari hal ini adalah dapat dilakukannya *rolling* pada temperatur yang lebih tinggi. Untuk mendapatkan grade X80 hampir selalu melibatkan Mo. Pengembangan grade X70 yang komposisi kimianya relatif sederhana adalah dengan penambahan Nb hingga 0,08%, Ti=0,018%, Mn=1,7% tanpa perlu menambah unsur padu lainnya. Tetapi bila Nb-nya diinginkan rendah (0,045%) maka harus ditambahkan Cu dan Ni kira-kira Cu=0,17% dan Ni=0,19%, atau Cu dan Ni bisa diganti dengan Mo atau V. Tetapi sekali lagi, kecenderungannya adalah dengan memanfaatkan seoptimal mungkin peran Nb.
4. Khusus untuk **Grade X65** komposisi kimia yang telah digunakan ditunjukkan dalam Tabel 4.

3.2. Evaluasi mengenai Komposisi Kimia Yang Diterapkan di PT. KS

Berdasarkan *bench marking* yang telah dilakukan untuk komposisi kimia baja HSLA X65 di berbagai industri lain, sebagaimana dirangkum pada **Tabel 4**, serta membandingkan dengan komposisi kimia rata-rata baja HSLA yang diolah dengan TMCP di PT. KS untuk menghasilkan grade X65 seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 3**, maka diperoleh beberapa catatan bahwa untuk baja HSLA TMCP komposisi kimia baja X65 yang diproduksi oleh PTKS adalah:

1. Kandungan C (0,06%) relatif di daerah yang termasuk sedang (lebih besar dari 0,05%).
2. Kandungan Si (0,259%) termasuk dalam daerah sedang.

3. Kandungan Mn (1,073%) termasuk rendah, karena biasanya sekitar 1,5% atau 1,75%.
4. Kandungan S (0,003%) termasuk sedang.
5. Kandungan P (0,008%) termasuk rendah.
6. Kandungan Al (0,038%) termasuk sedang.
7. Kandungan N (0,004%) termasuk sedang.
8. Kandungan Cu (0,161%) termasuk tinggi.
9. Kandungan Ni (0,237%) termasuk sedang.
10. Kandungan Cr (0,122%) termasuk sedang.
11. Kandungan Cu + Ni + Cr (0,52%) termasuk tinggi.
12. Kandungan Mo (0,005%) termasuk rendah dan keberadaan unsur ini di dalam baja diduga berasal dari scrap. Dengan demikian unsur ini dianggap tidak berkontribusi terhadap sifat baja.
13. Kandungan V (0,073%) dianggap sedang.
14. Kandungan Nb (0,05%) dianggap sedang.
15. Kandungan Ti (0,003%) dianggap rendah (atau bahkan unsur ini boleh jadi tidak sengaja ditambahkan melainkan datang dari *scrap*).

Berdasarkan kondisi dan hasil *bench marking* tersebut maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Unsur Mn sebaiknya ditingkatkan menjadi kira-kira 1,5%. Karena hardenabilitynya akan naik maka unsur Ni yang berharga lebih mahal tidak perlu ditambahkan (dapat dihilangkan).
2. Bila tidak disyaratkan terlalu ketat untuk ketahanan korosinya, maka unsur-unsur Cr dan Cu yang semula ditambahkan dapat pula eliminir dari komposisi baja.
3. Adopsi konsep HIPERC dari European Union yaitu low-C high Nb memberikan keuntungan finansial. Acuanannya adalah komposisi kimia untuk X70 adalah C= 0,05%, Mn=1,8%, Si=0,3%, Cr=0,2%, Nb=0,1%, Ti=0,02%.
4. Komposisi kimia yang disarankan untuk menghasilkan baja HSLA X65 adalah sbb:

C = 0,05%	Cu = -
Si = 0,30%	Ni = -
Mn= 1,80%	Cr = -
S = <0,003%	Mo = -
P = <0,01%	V = -
Al = 0,03%	Ti = 0,01%
N = 0,004%	Nb = 0,08%

Tabel 4 Komposisi kimia baja HSLA grade X65 hasil bench marking

Sumber	Wall (mm)	C	Si	Mn	S	P	N	Al	Ti	Cu	Ni	Cr	Nb	V	Mo
Blue Stream project		0.05	0.17	1.45	0.0006	0.012	0.004	0.029	0.009	0.26	0.27	0.04	0.05	0.04	0.12
Blue Stream project		0.04	0.24	1.27	0.0002	0.005	0.003	-	0.01	-	0.23	0.27	0.04	-	0.2
Blue Stream project		0.05	0.31	1.31	0.0006	0.009	0.0029	0.029	0.015	0.15	0.07	0.03	0.043	0.057	0.13
Blue Stream project		0.06	0.14	1.44	0.0004	0.011	0.0044	0.035	0.017	0.27	0.26	0.12	0.036	0.042	0.01
Blue Stream project		0.06	0.03	0.826	0.003	0.009	0.007	0.04	0.003	0.07	0.03	0.05	-	0.001	0.01
Blue Stream project		0.03	0.378	1.29	0.007	0.007	0.007	0.023	0.015	0.116	0.049	0.056	-	0.039	0.016
Blue Stream project		0.035	0.26	1.41	0.005	0.012	-	0.031	-	0.1	-	-	-	-	0.23
Ispat Industries Ltd		0.04-0.06	0.25-0.30	1.35-1.45	0.01	-	-	-	-	0.1	-	0.08	0.045-0.050	0.05	-
Guerdi		0.139	0.13	1.51	0.004	0.011	0.0211	0.0243	0.024	0.026	0.01	0.01	0.075	0.041	0.01
Clad plate	28	0.03	0.33	1.58	-	-	0.0042	-	0.011	-	-	0.16	0.087	-	-
Matrosov, Azovstan Iron and Steel	24	0.06	0.26	1.7	0.004	0.011	0.009	0.02	0.008	-	-	-	0.079	-	-
Matrosov, Azovstan Iron and Steel	24	0.07	0.26	1.62	0.003	0.01	0.006	0.032	0.012	-	-	-	0.076	-	-
Matrosov, Azovstan Iron and Steel	27	0.07	0.24	1.55	0.003	0.011	0.007	0.031	0.01	-	-	-	0.083	-	-
Matrosov, Azovstan Iron and Steel	27	0.07	0.18	1.59	0.003	0.01	0.005	0.04	0.011	-	-	-	0.073	-	-
Matrosov, Azovstan Iron and Steel	31	0.07	0.21	1.62	0.003	0.012	0.006	0.029	0.008	-	-	-	0.077	-	-
Matrosov, Azovstan Iron and Steel	31	0.06	0.2	1.65	0.004	0.008	0.007	0.036	0.012	-	-	-	0.075	-	-
Blue Stream project	31.8	0.05	0.17	1.45	0.0006	0.012	0.004	0.029	0.009	0.26	0.27	0.04	0.05	0.04	0.12
Blue Stream project	31.8	0.04	0.24	1.27	0.0002	0.005	0.003	-	0.01	-	0.23	0.27	0.04	-	0.2
Blue Stream project	31.8	0.05	0.31	1.31	0.0006	0.009	0.0029	0.029	0.015	0.15	0.07	0.03	0.043	0.057	0.13
Blue Stream project	31.8	0.06	0.14	1.44	0.0004	0.011	0.0044	0.035	0.017	0.27	0.26	0.12	0.036	0.042	0.01
Hillenbrand	28.4	0.04	0.31	1.34	0.0002	0.012	0.004	0.38	-	-	-	-	0.044	0.07	-
Hillenbrand	37.9	0.078	0.2	1.6	0.0008	0.008	0.004	0.005	0.017	0.13	0.27	-	0.035	-	-
Alp		0.05	0.2	1.4	0.006	0.017	-	0.042	0.01	0.32	0.25	0.01	0.04	0.06	-
Typical at Japan		0.12	0.25	1.5	0.006	0.02	0.007	0.025	-	-	-	-	0.03	0.08	-

Namun sebagaimana rancangan paduan untuk memproduksi baja API X65 yang sebelumnya diperlihatkan pada **Tabel 2** maka produksi baja tersebut harus disesuaikan dengan persyaratan konsumen. Dalam hal ini kandungan Mn disyaratkan tidak melebihi 1,2% dan kandungan Nb tidak melebihi 0,055%. Dengan demikian upaya peningkatan kekuatan baja HSLA disarankan dibagi menjadi dua skenario yaitu baja paduan dengan kandungan Nb tinggi dan baja kelas X65 yang memanfaatkan Nb seoptimum mungkin sesuai rancangan sebagaimana diperlihatkan pada **Tabel 2** tersebut.

3.3. Pertimbangan Bauschinger Effect

Secara umum perancangan paduan yang dihubungkan dengan *Bauschinger effect* untuk produksi baja API X60 hingga X80 sangat terkait dengan kandungan C. Rancangan untuk mengurangi fenomena *Bauschinger effect* adalah dengan menurunkan kandungan C. Rancangan kandungan karbon PT. KS yaitu dengan rata-rata kandungan karbon sebesar 0,06% C telah memenuhi prinsip skenario pengurangan pengaruh *Bauschinger effect*. Penurunan kekuatan luluh pada pipa juga dapat ditekan dengan menambahkan Mo kedalam baja. Namun demikian harga Mo yang tinggi akan menjadi bahan pertimbangan dalam rancangan paduan. Kandungan V dalam baja dapat dikurangi karena V hanya berkontribusi pada penguatan dispersi sebagai V(C,N) di ferrite. Penguatan dispersi oleh V ini pada baja HSLA juga kurang bila dibandingkan dengan penguatan dispersi oleh Nb. Sementara Nb selain berperan memberikan penguatan dispersi, namun juga mempromosikan pembentukan acicular ferrite (mengurangi pembentukan pearlite) dan meningkatkan temperatur non rekristalisasi (T_{nr}). Pengurangan pearlite diharapkan dapat mengurangi fenomena Bauschinger effect. Dengan demikian penggunaan Nb yang optimum perlu didorong.

3.4. Tinjauan Parameter Proses

Finishing Rolling. Temperatur pada finish *rolling* berkisar antara 950°C hingga 820°C, dan ini telah berada di bawah temperatur non rekristalisasi sehingga pada setiap pass akan berlangsung deformasi terhadap butiran austenit yang dihasilkan dari rekristalisasi di *roughing mill* dan tidak terjadi rekristalisasi melainkan bentuk pancaked yang mengandung dislokasi dan deformation band dengan kerapatan yang tergantung pada deformasi dan temperatur deformasi yang dilakukan. Cacat-cacat kristal ini kemudian digunakan sebagai tempat pengintian fasa ferit pada saat plat baja masuk ke dalam daerah kestabilan dua fasa (A_{r3}), yaitu kira-kira 890°C. Deformasi juga masih tetap berlangsung hingga pass terakhir (pass ke 6) yang berlangsung pada temperatur kira-kira 820°C yang berarti masih dalam daerah dua fasa ferit + austenit, atau masih berlangsung

penambahan fraksi ferit dan pengurangan fraksi austenit. Selama pembentukan ferit pada selang *finishing rolling* ini juga terjadi proses pembesaran ukuran butiran ferit. Oleh sebab itu untuk menjaga butiran ferit tetap halus diperlukan pengendapan partikel karbida atau karbonitrida halus yang mencegah pertumbuhan butiran ini, terutama dari Nb dan V.

Cooling. Hot rolled baja yang keluar dari *finishing mill* tersebut kemudian didinginkan pada *laminar cooling* dengan kecepatan pendinginan kira-kira antara 2-4°C/detik untuk selanjutnya digulung pada mesin *coiler*. Komposisi kimia yang diberikan diatas mengacu pada *bench marking* yang dilakukan dengan pertimbangan atau data dari *bench marking* mengenai *cooling rate* yang terbatas. Untuk melihat pengaruh *cooling rate*, berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Salem bahwa dengan *cooling rate* 6°C/detik dengan komposisi kimia seperti yang disebut diatas nampaknya belum dapat mencapai X70. Untuk mencapai X70 dengan kecepatan pendinginan 6°C/second diperlukan komposisi kimia C yang lebih tinggi yaitu kira-kira 0,097%, dengan penambahan 0,03% Cr, 0,06% Ni dan 0,057% Nb tanpa Ti dan V. Biaya yang lebih murah bila komposisi kimia mengacu pada konsep HIPERC dari European Union yaitu low-C high Nb dengan komposisi kimia untuk X70 adalah C= 0,05%, Mn=1,8%, Si=0,3%, Cr=0,2%, Nb=0,1%, Ti=0,02%. Berdasarkan kenyataan bahwa rata-rata kecepatan pendinginan di PTKS antara 2-4°C/detik, maka dengan komposisi kimia seperti yang disebut diatas, yaitu bila melakukan penghematan biaya produksi melalui penghematan unsur kimia, maka untuk mendapatkan grade yang lebih tinggi dari X65 seperti X70 dan X80 diperlukan kemampuan pendinginan yang lebih besar, paling tidak hingga 10°C/detik. Untuk memproduksi baja dengan grade yang lebih tinggi bila diinginkan komposisi kimia unsur padu yang tidak terlalu tinggi, maka kemampuan pendinginan harus lebih ditingkatkan lagi, bila memungkinkan hingga 15°C/detik.

Coiling. Temperatur pada saat coiling kira-kira 600°C. Temperatur coiling dan *finishing* biasanya telah ditentukan dalam program sesuai dengan ketebalan akhir yang diinginkan. Selain temperatur, target ketebalan akhir ini kemudian akan menentukan deformasi atau reduksi selama *roughing mill* maupun *finishing mill*. Ketebalan baja saat exit *roughing* paling tidak sama atau lebih besar dari 3 kali ketebalan akhir yang ditargetkan. Sebagai contoh untuk target tebal 9,3 mm, maka reduksi di *roughing* dilakukan sbb: 200-165-129-100-77-58-43-32, sedangkan untuk target ketebalan 12,7mm maka reduksi di *roughing mill* dilakukan menurut urutan sbb: 200-175-150-125-99-70-53-40. Ketebalan produk *roughing* maksimum adalah 45 mm mengingat kemampuan alat potong untuk head adalah untuk ketebalan 48mm. Oleh sebab itu terdapat kendala pada alat potong ini bila ingin dilakukan produksi baja dengan ketebalan yang relatif besar serta dalam jumlah

produksi yang besar pula (mass production). Bila temperatur coiling dapat diturunkan hingga 500°C, maka besar kemungkinan dapat diperoleh tambahan kekuatan akhir dari plat baja. Untuk itu, kemampuan mesin coiling yang memiliki kemampuan coiling pada temperatur yang lebih rendah perlu mendapat perhatian bila kedepan diinginkan untuk produksi grade baja yang lebih tinggi.

3.5 Analisis Struktur Mikro

Struktur mikro pada bagian permukaan atas dan bawah memiliki struktur yang didominasi oleh *acicular ferrite* sementara pada bagian tengah tebal lembaran baja stuktur yang terlihat adalah elongated ferrite dengan sedikit *acicular ferrite*. Perbedaan struktur ini jelas memperlihatkan perbedaan laju pendinginan antara bagian permukaan dan dalam lembaran baja. Permukaan lembaran baja yang mengalami pendinginan lebih cepat cenderung membentuk *acicular ferrite* sementara bagian dalam ditemui lebih sedikit *acicular ferrite*. *Acicular ferrite* diketahui memberikan kekuatan yang lebih tinggi serta ketangguhan yang lebih unggul dibandingkan equiaxed ferrite maupun elongated ferrite. Selain itu, ukuran butiran pada bagian permukaan dan bagian tengah lembaran baja juga berbeda. Ukuran butiran ferrite pada bagian permukaan lebih halus dibandingkan pada bagian dalam lembaran baja. Struktur pearlite juga ditemui pada bagian tengah lembaran baja yang menunjukkan laju pendinginan yang masih kurang cepat. Laju pendinginan yang lebih cepat dapat mencegah pembentukan struktur pearlite. Laju pendinginan yang lebih cepat dapat menghasilkan struktur *bainite* ataupun *acicular ferrite* yang lebih disukai untuk material baja aplikasi pipeline.

IV Analisis Biaya

4.1 Analisis Biaya Komposisi Paduan

Dengan eskalasi harga bahan baku yang semakin tinggi maka hampir semua perusahaan baja di dunia secara intensif berusaha melibatkan untuk unsur-unsur paduan yang semakin sedikit, yang murah dan meminimasi biaya operasi yang mungkin. Bersamaan dengan itu, konsumen atau pemakai baja umumnya menginginkan material yang semakin kuat, semakin tangguh, memiliki kemampuan pembentukan dan pengelasan yang semakin baik, dan sifat-sifat lainnya yang sesuai dengan kondisi pemakaiannya. Konsekuensi dari hal ini menyebabkan diperlukannya proses baru dan pengetahuan metalurgis yang semakin baik dan hal ini menjadi tantangan bagi industri baja saat ini.

Pemakaian baja dengan unsur kimia yang sangat banyak menyebabkan harga baja menjadi mahal dan menjadikan resistensi bagi pembeli terutama untuk iklim ekonomi seperti saat ini. Oleh sebab itu, startegi baru untuk pengembangan grade harus dilakukan

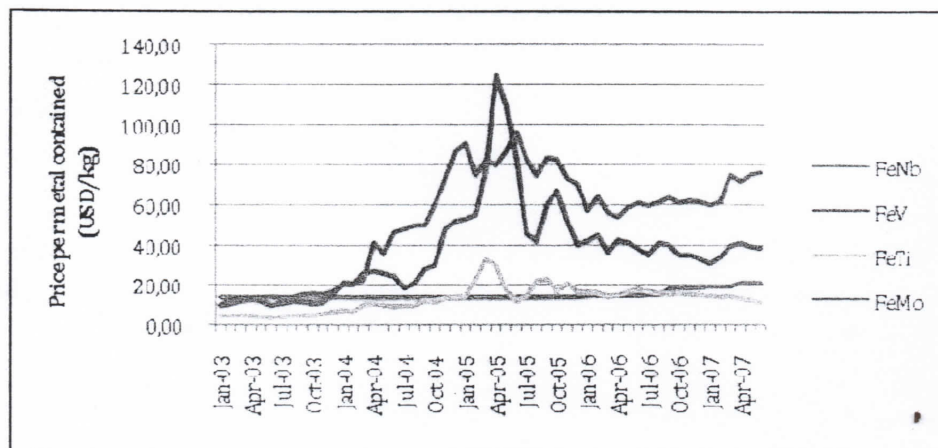
oleh produsen baja terutama dengan pendekatan baja karbon rendah, paduan rendah, dan harga rendah yang komposisi kimianya tentu saja harus sesuai dengan kemampuan proses metalurgi dari *mill*-nya. Produksi baja yang lebih ekonomis, dengan cara menghindari penambahan unsur-unsur yang mahal seperti Mo, Ni dll, dari baja HSLA dan sekaligus membentuk struktur mikro ferit berbutir halus dan sebagian bainit secara operasional menjadi mungkin dengan teknologi *accelerated cooling* yang diterapkan setelah *thermomechanical rolling*. Selain ukuran butiran yang lebih halus, penguatan juga diperoleh melalui kerapatan dislokasi yang tinggi pada bainit jenis ini (yang memberikan kekuatan luluh diatas 500 MPa) dibandingkan bila strukturnya adalah ferit polygonal (pendinginan udara yang menghasilkan kekuatan 420 – 460 MPa).

Praktek lama yang membebankan harga material dan biaya operasi yang tinggi kepada konsumen tidak mungkin lagi dapat bertahan saat ini. Lingkungan global yang semakin kompetitif mengharuskan pemahaman yang lebih luas mengenai keseimbangan ekonomi dari praktek proses metalurgis yang meliputi mulai dari iron making, steel making, pengembangan unsur dan praktek *rolling* dengan tuntutan sifat mekanis dari konsumen dan ini akan terus menjadi tantangan yang besar bagi industri baja karena beberapa faktor. Faktor- faktor ini meliputi peningkatan harga raw material dan energi yang membuat produsen baja tertantang untuk memenuhi tuntutan kualitas dengan harga yang kompetitif.

Untuk menganalisis biaya dari pengembangan komposisi baja untuk menghasilkan Grade X65 dan kedepan untuk grade-grade yang lebih tinggi (X70, 80 dan 100) yang perlu dilakukan di PTKS, maka analisis biaya yang dilakukan dalam Project HIPERC oleh European Union akan dijadikan sebagai landasan atau acuan. Hal ini juga sejalan dengan usulan perbaikan komposisi kimia yang diuraikan dalam bab sebelumnya yang mengacu pada hasil *bench marking* yang salah satunya pada hasil yang dilakukan oleh European Union dengan Project HIPERC-nya dan pengembangan lain yang juga ternyata memiliki kesamaan dengan strategi pengembangan yang dilakukan dalam project ini.

Project HIPERC dari European Union diarahkan untuk mengantisipasi hal-hal yang telah diuraikan sebelumnya. Hasil yang diperoleh dari simulasi yang dilakukan dalam Project ini untuk penerapan grade low-carbon lean-alloy (LCLA) mengarah untuk produksi baja low-C high-Nb dengan mempertimbangkan semua faktor (supply chain) yang dihubungkan secara integral dari raw material ke produk akhir. Komponen-komponen kunci yang dipertimbangkan dalam analisis biaya adalah harga material dasar, harga material pengganti, biaya operasi termasuk energi dan biaya tak langsung. Harga paduan biasanya sangat fluktuatif (**Gambar 7**). Harga tahun 2007 yang digunakan untuk analisis:

yang dilakukan oleh Project ini ditunjukkan pada **Tabel 5**. Terlihat bahwa dibandingkan dengan harga Mo dan V, harga Nb lebih murah.



Gambar 7 Evolusi harga ferro-alloy

Tabel 5 Harga ferro-alloy rata-rata tahun 2007

Ferro-alloy	MC FeMn	FeSi	FeTi	FeV	FeNb	FeMo	FeCr	Ni	Cu
Average price (€/alloy kg contained)	1.42	0.90	8.1	27.9	17.3	53.4	4.9	27.6	5.3

Fokus utama project HIPERC adalah baja paduan Nb relatif tinggi (1 kg Nb/ton baja, atau 0,1% Nb) untuk menghasilkan paling tidak grade X70. Biaya paduan untuk Nb ini adalah 17.3 EUR per ton baja. Namun demikian dengan pertimbangan bahwa Nb telah banyak digunakan dalam praktek, diambil 10.4 EUR per ton baja sebagai harga peningkatan aktual. **Tabel 6** menunjukkan biaya beberapa konsep pemaduan untuk baja hot-strip X70 dan X80. Dibandingkan dengan konsep tradisional baja Nb-V untuk X70, konsep HIPERC high Nb-Cr menawarkan penghematan biaya sekitar 5 EUR perton baja. Dalam HIPERC Project dikembangkan pula suatu konsep pemaduan untuk X70 dengan Nb dikurangi hingga 0,06%, tetapi ditambahkan Cr, Cu dan Ni untuk mengkompensasi penurunan kekuatan. Namun demikian dengan konsep terakhir ini ternyata biayanya lebih mahal 60 EUR dibandingkan konsep paduan low-C high-Nb. Selain keuntungan finansial, keuntungan lain dari konsep low-C high-Nb adalah:

- Karena dengan konsep ini prosesnya dapat dilakukan pada temperatur yang lebih tinggi maka jumlah pass dapat dikurangi.
- Karena temperatur recrystallization stop lebih tinggi, temperatur *roughing* dapat dilakukan pada temperatur tinggi dan kemampuan alat potong menjadi lebih tebal.

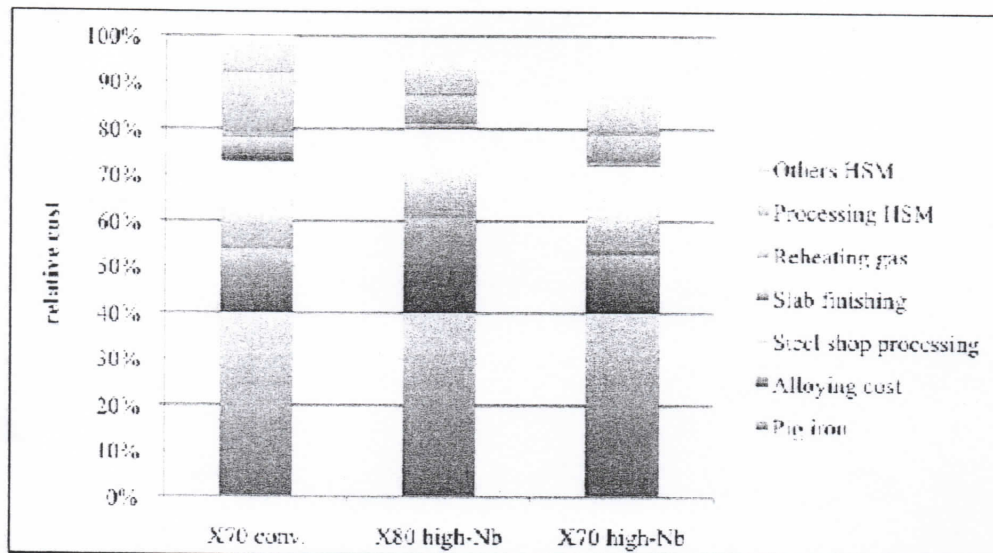
Gambar 8 menunjukkan ringkasan biaya produksi untuk tiga skenario dengan acuan konsep konvensional (NbV) X70 diambil 100. Konsep high-Nb dapat diproduksi dengan 95% dari konsep konvensional (NbV) X70. Unsur padu yang lebih mahal pada X80 dikompensasi oleh penurunan biaya *hot rolling*. Bila konsep high-Nb diterapkan untuk menghasilkan X70 maka akan diperoleh penghematan dan biayanya menjadi 87% dari konsep konvensional (NbV) X70.

Tabel 6 Biaya paduan beberapa konsep paduan untuk X70 dan X80 pipe skelp

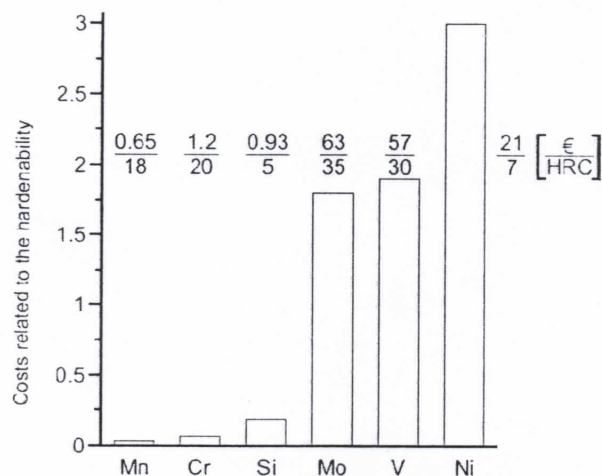
Alloying concept	X70 coil	X70 coil HIPERC	X70 coil HIPERC 30619	X80 coil HIPERC 16685	X80 coil ERW	X80 coil HIPERC 81351	L555MB	X80 AF coil 2 nd WEGP
(wt. %)	Salzgitter	Generic	14.0 mm Ruukki	14.1 mm Salzgitter	9.0 mm Bluescope	11.0 mm Ruukki	Ruukki	18.5 mm Chinese mills
C	0.10	0.05	0.04	0.05	0.08	0.04	0.06	0.04
Mn	1.70	1.80	1.81	1.75	1.60	1.96	1.75	1.85
Si	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	0.37	0.25
Cr		0.20	0.21	0.27		1.01		0.20
Cu			0.21			0.21		0.20
Ni			0.20			0.22		0.15
Mo				0.07	0.20		0.30	0.25
Nb	0.04	0.10	0.06	0.10	0.05	0.10	0.06	0.08
V	0.10						0.07	
Ti		0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
Ferro-alloy cost	62.35€	56.98€	116.17€	96.02€	142.09€	169.36€	217.25€	239.24€

Selain itu perlu dijelaskan pula bahwa pemakaian unsur-unsur seperti Ni untuk meningkatkan hardenability baja sebenarnya kurang menguntungkan dibandingkan dengan meningkatkan kandungan Mn di dalam baja. Hal ini dengan melihat acuan pada **Gambar 9** yang menunjukkan biaya peningkatan kekerasan yang jauh lebih tinggi untuk Ni dibandingkan untuk Mn.

Dengan memperhatikan hasil analisis biaya yang dilakukan dalam Project HIPERC oleh European Union disimpulkan bahwa komposisi kimia yang diusulkan yang mengandalkar pemakaian Nb serta menganulir unsur lain yang mahal seperti V dan Ni diharapkan PTKS dapat pula mendapatkan pengurangan biaya dari perubahan komposisi kimia baja. Memang unsur Mn dan Ti harus ditingkatkan, tetapi peningkatan ini diprediksi masih lebih murah karena penghilangan unsur V, Ni, Cr dan Cu. Namun demikian, untuk memungkinkan penghematan ini diperlukan perbaikan terhadap fasilitas pendinginar (cooling) untuk memungkinkan pendinginan hingga mencapai 10°C/detik dari sekarang yang hanya rata-rata 4°C/detik.



Gambar 8 Analisis biaya untuk konsep yang berbeda X70 dan X80 untuk pipa.



Gambar 9 Biaya relatif terhadap hardenability. Biaya dalam Euro per kilogram unsur padu atau persen kandungan unsur dalam 100 kg baja terhadap peningkatan kekerasan per % kandungan unsur padu

4.2 Perbandingan Harga Relatif dan Perkiraan Struktur Mikro

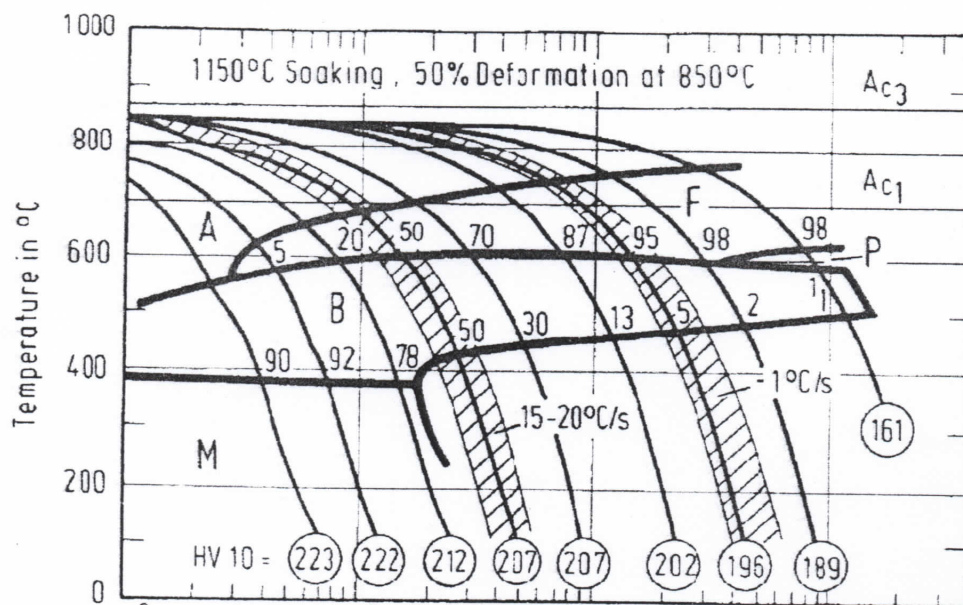
Perbandingan harga dan simulasi yang dapat dilakukan menggunakan data yang digunakan dalam project HIPERC bila harga Si dianggap sama dengan 1 seperti ditunjukkan pada Tabel 7. Dengan acuan harga dari HIPERC tersebut harga relatif baja dengan komposisi kimia (data tahun 2007) yang digunakan dalam memproduksi baja X65 di PTKS adalah **14,38**. Apabila kandungan Cu, Mo, dan Ti pada baja telah dibawa melalui scrap, maka harga relatif baja dapat turun dari **14,38** menjadi **13,11**. Pada tabel tersebut juga ditunjukkan bahwa saat ini (2011) PT. KS sedang memproduksi baja API X65 MO

dengan harga relatif yang sedikit lebih rendah dibandingkan baja API X65 tahun 2007, yaitu 13,37.

Pada **Tabel 7**, baja spesifikasi API X65 **Usulan 1** dan **2**, memiliki komposisi kimia yang masih memenuhi rancangan komposisi kimia mengikuti pedoman produksi PT. KS sesuai dengan **Tabel 2**. Pada baja API X65 Usulan 1, harga relatif sedikit lebih rendah melalui pengurangan unsur V. Sementara pada baja API X65 Usulan 2, penurunan harga relatif diberikan melalui pengabaian penggunaan unsur V. Penurunan harga relatif lebih nyata pada baja API X65 Usulan 3 dan baja HSLA Usulan 4. Pada usulan ini tidak digunakan unsur Cu, Mo, dan V. Penggunaan Ni dan Cr pun dikurangi pada baja Usulan 3, bahkan dihilangkan pada baja Usulan 4. Baja API X65 Usulan 3 memiliki kandungan Mn yang lebih tinggi dibandingkan pedoman PT. KS (**Tabel 1**) namun lebih rendah dibandingkan dengan contoh persyaratan yang diminta konsumen (**Tabel 2**).

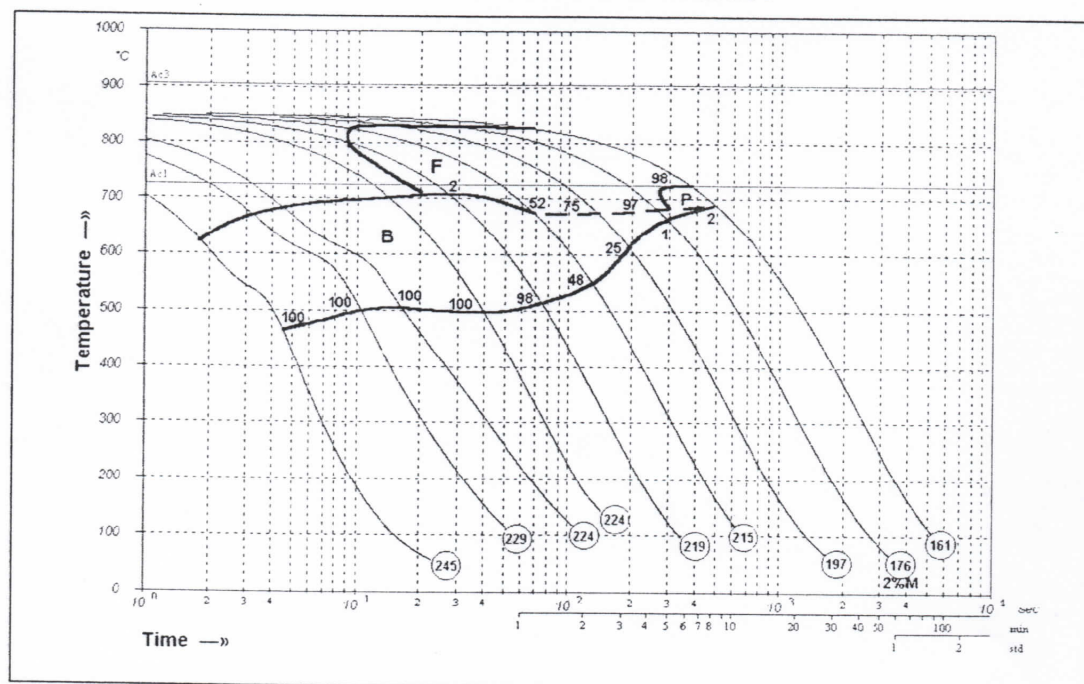
Sebagaimana sebelumnya ditunjukkan pada **Tabel 7**, kandungan Mn rata-rata pada baja API X65 PT. KS adalah 1,073 lebih rendah dibandingkan kandungan Mn rata-rata umumnya pada baja X65 hasil *bench marking* yaitu lebih dari 1,5 persen berat. Oleh karena itu diusulkan penambahan unsur Mn hingga 1,8, tanpa menggunakan Cu, Ni, Mo dan V (Usulan 4). Baja dengan kandungan Mn yang lebih tinggi serta high-Nb ini memberikan harga relatif yang jauh lebih rendah untuk memberikan kekuatan mekanik yang tinggi. Bila persyaratan komposisi kimia untuk baja HSLA tidak diinginkan sekata syarat yang diminta pada pipa baja di industri migas, maka Usulan 4 tersebut dapat digunakan untuk baja-baja struktur yang membutuhkan kekuatan tinggi.

Bila dengan laju pendinginan $2^{\circ}\text{C}/\text{detik}$ belum cukup sehingga diperlukan Nb, misalnya menjadi 0,1% dan Cr sebanyak 0,2%, sebagaimana ditunjukkan pada Usulan 5 dengan harga relatif 6,24 maka dapat digunakan diagram CCT seperti ditunjukkan pada **Gambar 10** dan **11** dimana pada kecepatan pendinginan $2^{\circ}\text{C}/\text{detik}$ maka struktur mikro yang dihasilkan kemungkinannya adalah ferrite + *bainite* dengan perbandingan kira-kira 85% ferrite dan 15% bainit.



Gambar 10 Diagram CCT untuk baja HTP

0.041C 1.5Mn 0.11Nb 0.47Cr Steel A031



Gambar 11 Diagram CCT untuk baja 0,041C; 1,5Mn; 0,11Nb; 0,47Cr

Tabel 7 Harga relatif komposisi unsur paduan untuk baja X65 eksisting PTKS dan beberapa baja usulan spesifikasi API X65 serta baja High-Nb

Harga relatif paduan terhadap Si								
Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	Ti
1	1.58	5.89	30.67	5.44	59.33	31	19.22	9

Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	Ti	Harga Relatif	Keterangan
0.259	1.073	0.161	0.237	0.122	0.005	0.073	0.050	0.003	14.38	API X65 (2007)
0.259	1.073	0.000	0.237	0.122	0.000	0.073	0.050	0.000	13.11	API X65 (2007) tanpa Cu, Mo, Ti
0.231	1.05	0.17	0.22	0.23	0.000	0.04	0.06	0.01	13.37	API X65 MO (2011)
0.25	1.15	0	0.25	0.15	0	0.045	0.05	0	12.91	API X65 (Usulan 1)
0.25	1.2	0	0.2	0.15	0	0	0.05	0.02	10.24	API X65 (Usulan 2)
0.25	1.5	0	0.05	0.1	0	0	0.05	0.02	5.84	API X65 (Usulan 3)
0.3	1.8	0	0	0	0	0	0.08	0.01	4.77	HSLA High-Nb (Usulan 4)
0.3	1.8	0	0	0.2	0	0	0.1	0.01	6.24	HSLA High-Nb (Usulan 5)

5. Kesimpulan dan Rekomendasi

5.1 Kesimpulan

1. Tipikal operasi TMCP PTKS : *Finishing mill* pada 950°C – 820°C yang berarti dalam selang diatas A_{r3} dan daerah dua fasa austenit dan ferit, pendinginan dengan *laminar cooling* dari 850°C-600°C, coiling dan pendinginan udara dari 600°C ke temperatur kamar. Kecepatan pendinginan di *laminar cooling* bervariasi antara 2°C/detik hingga 4°C/detik untuk ketebalan yang bervariasi (10 – 18 mm).
2. Deformasi yang dapat dihasilkan di *roughing mill*, yaitu minimal 20%, dianggap mampu memberikan struktur rekristalisasi yang seragam atau homogeny disemua bagian slab yang dirol. Demikian pula kemampuan reduksi di *finishing mill* juga mampu memberikan struktur homogeny pancake yang mengandung deformation band dan dislokasi untuk memberikan tempat pengintian fasa ferit. Semakin besar tempat pengintian ferit maka butiran ferit akan semakin halus.
3. Berdasarkan struktur mikro yang terkumpul dapat disimpulkan bahwa struktur baja X65 PTKS bervariasi dan dapat merupakan campuran antara polygonal ferit, perlit dan *acicular ferrite* dengan struktur yang dominan adalah polygonal ferrite. Struktur mikro paling halus yang dapat dicapai adalah campuran polygonal ferrite berukuran rata-rata 10 mikron dan *acicular ferrite* berukuran kurang dari 5 mikron. Perbedaan struktur mikro baik morfologi, jenis dan ukuran pada permukaan dan tengah disebabkan oleh perbedaan laju pendinginan.
4. Kondisi eksisting peralatan TMCP milik PTKS dengan komposisi kimia tipikal yang ada, yaitu:

C	Si	Mn	P	S	Al	N
0,06	0,259	1,073	0,009	0,003	0,038	0,004
Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	Ti
0,161	0,237	0,122	0,005	0,073	0,050	0,003

mampu menghasilkan baja API5L grade X65, bahkan berdasarkan sifat mekanis (YS > 450 MPa) sebagian telah memenuhi grade X70 (YS > 485 MPa).

5. Dari komposisi kimia tersebut dikaitkan dengan *bench marking* maka:
 - a. Kandungan C, Si, Mn, Al termasuk sedang. Unsur Ti dan Mo diperkirakan ada tanpa ditambahkan (dari scrap). Kandungan Nb dan V termasuk sedang.

- b. Bila grade X65 yang dituju dengan fasilitas TMCP yang ada, maka komposisi kimia tersebut dapat dikurangi yaitu dengan menghilangkan Ni, Cr dan Cu namun perlu meningkatkan Mn hingga 1,5%. Unsur V yang mahal bisa dihilangkan dengan kompensasi menaikkan Nb dan Ti. Namun demikian kandungan N harus dapat ditekan hingga 0,003% dan C sedapat mungkin maksimum 0,05%.
 - c. Dengan memberikan peran Nb yang lebih besar tersebut juga sejalan dengan hasil-hasil pengembangan akhir-akhir ini di beberapa negara lain (terutama di Eropa) yang cenderung ke arah low-C high Nb tanpa V dan penerapan HTF yang memberikan keleluasaan yang lebih besar pada fasilitas *hot strip mill* yang ada. Catatan: pada dasarnya fasilitas *mill* yang ada telah beroperasi pada prototip operasi HTP. Hal tersebut didasarkan pada pertimbangan cost benefit (HIPERC) dimana harga Mo = 3 x harga Nb, harga V = 1,6 x harga Nb.
6. Berdasarkan pertimbangan harga, sifat mekanik, pedoman produksi PT. KS, dan persyaratan konsumen maka diusulkan dua skenario utama yaitu: (1) peningkatan kandungan Mn, Ti dan Nb seoptimum mungkin mengikuti pedoman produksi AP X65 PT. KS dan (2) peningkatan kandungan Mn dan Nb menurut konsep HTF steel. Konsep HTP steel ini disarankan untuk produksi baja-baja berkekuatan tinggi yang tidak diikat oleh persyaratan konsumen dan kode di industri migas.
 7. Kandungan C yang rendah (0,06%C) pada baja API X65 PT. KS telah mengikuti skenario pembuatan baja dengan meminimalkan pengaruh Bauschinger effect. Kandungan V dalam baja dapat dikurangi karena V hanya berkontribusi pada penguatan dispersi sebagai V(C,N) di ferrite. Penguatan dispersi oleh V ini pada baja HSLA juga kurang bila dibandingkan dengan penguatan dispersi oleh Nb. Nb selain berperan memberikan penguatan dispersi, juga mempromosikan pembentukan *acicular ferrite* (mengurangi pembentukan pearlite) dan meningkatkan temperatur non rekristalisasi (T_{nr}). Pengurangan pearlite diharapkan dapat mengurangi fenomena *Bauschinger effect*. Dengan demikian penggunaan Nb yang optimum perlu didorong.

5.2 Rekomendasi

1. Untuk menghasilkan grade X70 dan 80 dengan *acicular ferrite* yang dominan diperlukan modifikasi peralatan *laminar cooling* yang ada sehingga mampu mendinginkan pelat hingga 10- 15°C/detik.
2. Untuk menghasilkan pelat yang relatif tebal (lebih besar dari 15 mm) pada mass production, dibatasi oleh kemampuan alat potong yang maksimal hanya mampu

memotong pada ketebalan 45 mm pada saat keluar dari *roughing mill*. Oleh sebab itu diperlukan peningkatan kemampuan alat potong ini.

Daftar Pustaka

- Ouchi, Chiaki ISIJ Int. Vol. 41 (2001), No. 6, pp. 542-553
- Tamehiro H, et. al., Trans ISIJ Vol. 25 (1985), pp. 54-61
- Meester, B. de, ISIJ Int. Vol. 37 (1997), No. 6, pp. 537-551
- W. B. Morrison: J. Iron Steel Inst., 201 (1963), 317.
- F. B. Pickering and T. Gladmann: ISI Special Report No. 81, (1963), 10.
- J. S. Irani, D. Burton and F. Keyworth: J. Iron Steel Inst., 204 (1966), 702.
- K. J. Irvine, F. B. Pickering and T. Gladman: J. Iron Steel Inst., 205 (1967), 161.
- J. D. Jones and A. B. Rothwell: ISI Special Report No.108, (1968), 78.
- Tsukada, K. et. al., NK Tech. Report No. 89, 1981, pp. 121-132
- Fujibayashi, A and Omata, Kazuo., JFE Tech. Report, No. 5 (2005), pp. 10-15
- Kitada Technical Bulletin of Nippon Kaiji Kyokai, Vol 4 (1986) p. 53.
- J. Dearden and H.O'Neil, Trans. Int. Weld., 3 (1940), 203.
- Y. Itoh and K. Bessho, J. Jpn. Weld. Soc., 37 (1968), 983.
- K. Tsukada, Y. Yamazaki, S. Kosuge, T. Tokunaga, K. Hirabe and K. Arikata, Nippon Kokan Tech. Report, Overseas 35 (1982) 35-46.
- N. Yurioka, Weld in the World 35 (1995) 375-90.
- Y. Kusuhara, E. Kobayashi, F. Ohnishi, I. Hirai, K. Amano and R. Tarui, Kawasaki Steel Tech. Report 13 (1985) 77-82.
- O. Tanigawa, H. Ishii, N. Itakura, K. Amano, Y. Nakao and F. Kawabata, Kawasaki Steel Tech. Report 29 (1993) 54-63.
- Y. Ohno, Y. Okamura, K. Uchino, K. Yamamoto, S. Matsuda, K. Ikeda, T. Saton, Nippon Steel Tech. Report, 1988; No. 36, pp. 49-59.
- I. Watanabe, M. Suzuki, H. Tagawa, Y. Kunisada, Y. Yamazaki, N. Iwasaki. Nippon Kokan Tech. Report, Overseas, 1986; No. 47, 52-7.
- S. Suresh, Fatigue of Materials 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998, Chap. 9, p. 331-342.
- Borziguon, P. and Hulka, K. *An Alloy Design Concept for Better Matching of Strength and Toughness in Pipe Line Steels – Its Development and Application*. Niobium Princt Company, Germany.
- Drewett, L.J., et.al. *HIPERC : A Nevel, High Performance, Economic Steel Concept for Line Pipe and General Structured Use*. Directorat General for Research. European Commision. Brussels. 2008.
- Guedri, A., et.al. *Improving Mechanical Properties of API X60/70 Welded Pipeline in Steel*. Science and Technology. June 2009.

Graf, M., et.al. *Prediction of Large Diameter Pipes Grade X70 with High Toughness Using Acicular ferrite Microstructure*. Europipe. 2002.

Gray, F., et.al. *High Strength Microalloyed Linepipe : Half Century of Evolution*.

Hulka, K. and Gray, J.M. *High Temperature Processing of Line-Pipe Steels*. Niobium Products Company GmbH. Germany.

Kostrzyhev, A.G. *Bauschinger Effect in Nb and V Microalloyed Line Pipe Steels*. Doctor of Philosophy Thesis. The University of Birmingham.

Matrosov, Y.L., et.al. *Development of Modern Heavy Plate Steels for Pipelines*. Materials Science Forum, volume 5, page 539-543. 2007.

Williams, J.G. *Advances in Steels for High Strength ERW Line Pipe Application in Australia*. Material Forum, volume 31. 2007.

Yiao, G., et.al. *Effects of Contents of Nb and C on Hot Deformation Behaviors of High Nb X80 Pipeline Steels*. Transactions of Non-Ferrous Metals Society of China. 2009.

Riwayat Singkat Penulis



Dr. Eng. Akhmad A. Korda, menyelesaikan pendidikan S1 di jurusan Teknik Pertambangan Institut Teknologi Bandung option Metalurgi. Pendidikan S2 c bidang Rekayasa Mineral dan Metalurgi pada institusi yang sama diselesaikan pada tahun 2000. Gelar S3 diperoleh pada tahun 2006 pada bidang Material Science dari Nagaoka University of Technology, Jepang. Posisi saat ini adalah staf pengajar di Program Studi Teknik Metalurgi ITB.

Seminar Nasional Besi & Baja II

SNBB 2011

*“Peningkatan Kapabilitas Produksi dan Kualitas
Baja”*

Proceeding

Diterbitkan tanggal 25 November 2011

Editor :

Zulfiadi Zulhan
Nur Istiqomah Khamidy
Killang Pratama
Zela Tanlega
Epma Lupita Ismudya Putri
Fariza Eka Yunita
Putri Leony
Dinni Nurhayani