

ANALISA KEGAGALAN PLAT DECK (DECKPLATE) DAN PENYANGGA (CRADLE) PADA TUNGKU REDUKSI PT. INALUM

¹Victorson Saragih, ²Jesayas Sembiring
¹Mahasiswa, ²Dosen Teknik Mesin Universitas Simalungun

ABSTRAK

Pengamatan dan analisa di PT.Indonesia Asahan Aluminium (PT.Inalum) bertujuan untuk mengetahui mengenai plant tungku reduksi,terutama tentang pemeliharaan (Pot Maintenance),dimana khususnya membahas struktur penyangga (Cradle) dan Plat Deck (Deck Plate) pada tungku reduksi.Dimana analisa Kegagalan Plat Deck (Deck Plate) Dan Penyangga (Cradle) dilakukan berdasarkan literatur dan perhitungan,masalah statika struktur dan mekanika teknik terhadap fenomena aktual yang terjadi di lapangan.

Data yang diperoleh dari lapangan menunjukkan kegagalan pada penyangga (cradle) berupa defleksi dan cacat pada sambungan las.Defleksi akan bertambah bergantung pada cradle pada pot dan cradle pada bagian tengah pot akan mengalami defleksi yang paling besar.

Kata kunci : aktual.Defleksi, Reduksi.

I. PENDAHULUAN

Penulisan Karya Ilmiah adalah tugas akhir yang merupakan salah satu diantara persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan Strata-1 (S1) dan pada kesempatan ini penulis berusaha menyelesaikan tugas akhir ini melalui dengan melakukan pengamatan dan analisa di PT. Indonesia Asahan Aluminium (PT. Inalum) dengan menggunakan metode-metode penulisan ilmiah. Hal ini dilakukan dalam upaya menerapkan ilmu yang diperoleh khususnya masalah statika struktur dan mekanika teknik terhadap fenomena aktual yang terjadi di lapangan. Yang mana dilakukan dengan mengamati dan menganalisa pada tungku reduksi dimana terdapat beberapa kegagalan yang terdapat dalam operasi yang mana berupa erosi pada dinding samping (side wall),ekspansi pada katoda,retak dan deformasi pada penyangga(cradle).

II.DASAR TEORI

Filosofi Perawatan

Teknik perawatan mulai diperhatikan setelah ditemukan peralatan dan mesin-mesin sebagai pengganti tenaga manusia. Dan umur peralatan dimulai dengan penyelidikan terutama pada instalasi dan berakhir dengan kerusakan. Siklus umur dari peralatan terdiri dari beberapa tahap yaitu:

- Memeriksa dan meneliti (investigation and research)
- Perencanaan (Planning)
- Desain (Design)
- Pabrikasi /Pengolahan (Manufacture)
- Instalasi dan Uji Operasi (Installation and Test Operation)
- Operasi dan Perawatan (Operation and Maintenance)
- Penempatan (Disposition)

Adapun fungsi dan kegunaan peralatan yang paling efektif terhadap siklus umur adalah perawatan peralatan. Peralatan merupakan benda bergerak, seperti halnya manusia yang membutuhkan waktu istirahat dan pemeriksaan sebagai tindakan yang penting untuk mempertahankan kehandalannya.

Yang dimaksud perawatan adalah semua pengaturan dan kegiatan yang dilakukan untuk memelihara suatu alat pada kondisi operasi dan selalu siap pakai atau mengembalikan fungsi alat tersebut dari kerusakan tanpa menimbulkan efek lain.

Pada dasarnya tujuan perawatan adalah mempertinggi efisiensi peralatan, yaitu perbandingan output dengan input seperti dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi peralatan} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

Ilmu teknik perawatan dan penanggulangan terus menerus diselidiki dan berkembang sejalan dengan makin berkembangnya ilmu permesinan dan industri mesin.

Dalam perawatan peralatan modern, faktor ekonomi harus dipertimbangkan. Hal ini didasarkan bahwa peralatan dibangun dengan biaya yang paling ekonomis dan harus dirawat dengan biaya seekonomis mungkin dalam setiap aspek. Berdasarkan prinsip diatas, dikembangkan suatu sistem perawatan peralatan modern yang dikenal dengan productive maintenance (perawatan produktif).

Secara singkat perkembangan teknik perawatan adalah sebagai berikut:

- Perawatan Kerusakan (Breakdown Maintenance/BM)
- Perawatan Pencegahan (Preventive Maintenance/ PM)
- Perawatan Perbaikan (Corrective Maintenance/CM)
- Pencegahan Perawatan (Maintenance Prevention /MP)
- Perawatan Produktif (Productive Maintenance)
- Perawatan Produktif Keseluruhan (Total Productive Maintenance)

III.METODE PENELITIAN

Metode Penelitian ini adalah penelitian dengan metode analisa yang dilakukan berdasarkan literatur dan perhitungan.Metoda Pemecahan masalah mengikuti kaidah metode ilmiah, namun dibatasi hingga kesimpulan sementara (hipotesa). Lokasi Penelitian ini dilaksanakan di PT.Inalum Kuala Tanjung Asahan

Fenomena –fenomena kegagalan pada tungku reduksi

Saat ini, perawatan tungku reduksi berupa perawatan pencegahan terhadap kerusakan yang mulai menjadi trend baru pada pabrik peleburan aluminium di dunia ini. Daya saing produksi aluminium salah satunya ditentukan oleh kemampuan pot yang terdapat pada pabrik peleburan tersebut. Eksperimen dan analisa kegagalan pot semakin berkembang, hal ini tentunya didukung oleh penemuan uji yang terus berkembang dan maju. Jika pot dapat beroperasi lebih dari 5 sampai 7 tahun, tentu biaya produksi akan dapat dihemat bermilyaran rupiah.Umur pot dipengaruhi oleh beberapa kegagalan yang terdapat selama operasi. Kegagalan dapat berupa erosi pada dinding samping (side wall) , ekspansi pada katoda, retak dan deformasi pada penyangga (cradle). Karena faktor kegagaglan cukup kompleks baik penyebab dan jenis kegagalannya, maka perlu optimasi dalam penanganannya.

Pada dasarnya kegagalan pada bottom meliputi:

- keadaan dasar tungku yang menggelembung ke atas (bottom heaving)
- retak pada katoda (crack in block)
- celah dan retak pada bagian pasta (gap & crack in paste)
- lubang pada bagian dasar tungku reduksi (potholes in bottom)
- erosi pada bagian dasar tungku reduksi (bottom erosion)
- ekspansi pada batang pengumpul arus (collector bar)

Penyebab kegagalan pada saat kondisi:

- pemanggangan (baking)
- menghidupkan (start up)
- operasi
- desain

Kegagalan yang timbul dari berbagai penyebab tersebut dapat saling mendukung, meniadakan, atau bertentangan dalam upaya penanggulangannya. Untuk mendapatkan optimasi yang dapat dipertanggungjawabkan perlu eksperimen yang lebih mendalam, tentunya memerlukan biaya yang besar dan waktu yang lama. Keadaan Dasar Tungku yang Menggelembung ke Atas (Bottom Heaving)

Bottom heaving adalah melenturnya bagian tengah dari blok katoda ke arah atas relative terhadap kedua ujungnya, sehingga permukaan blok katoda berbentuk konveks terangkatnya blok katoda terutama disebabkan oleh:

- timbulnya gradien temperatur negatif di dalam blok katoda dalam arah longitudinal ke bawah
- pengembangan/ permukaan katoda tidak rata (swelling) yang disebabkan sodium interkalasi.

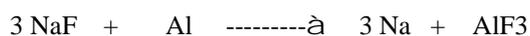
Prinsipnya adalah ekspansi yang disebabkan oleh pemanasan dan penetrasi sodium tidak hanya menimbulkan ekspansi pada katoda secara keseluruhan, tetapi juga akan menyebabkan terangkatnya blok katoda jika muncul gradien ekspansi secara vertikal. Kedua hal diatas akan menyebabkan internal stress pada blok katoda. Akibat adanya gradien temperatur dan ekspansi sodium, maka stress yang timbul juga tidak sama besar sehingga dapat mengakibatkan terangkatnya blok katoda dengan defleksi maksimum pada bagian tengahnya. Hal ini dapat dibayangkan seperti prinsip bimetal yang disatukan, dengan koefisien pemuaian yang berbeda, jika mengalami pemuaian akan melengkung, dengan lengkungan terbesar dibagian tengah gradien temperatur tersebut dapat secara khusus terjadi selama pre-heating (baking) dan start up, dimana penetrasi sodium berlangsung secara besar-besaran dari atas blok katoda.

Jika gradien ini diasumsikan linier dalam arah vertikal maka besarnya defleksi maksimum pada blok katoda yang disebabkan oleh pengaruh panas dan interkalasi.

Sebagai gambaran, berikut ini dijelaskan tentang mekanisme swelling :

Sodium (Na) terjadi akibat reaksi antara sodium fluoride pada elektrolit dengan leburan aluminium.

Reaksi kimianya:



Na terlepas menuju blok katoda. Besar butir Na lebih kecil dibandingkan dengan besar butir blok katoda. Hal ini memudahkan terjadinya pengisian (penetrasi) Na ke katoda blok melalui batas butir, sehingga terbentuk CxNa interkalasi. Pada dasarnya penetrasi Na ke karbon melalui dua mekanisme :

- Pengantaran (transport) uap (bath cair) melalui pori-pori Karbon
- Penebaran (diffuse) (metal cair) melalui kisi Karbon

Senyawa interkalasi ini dapat menimbulkan ekspansi pada jarak antara lapisan (interlayer distance) yang akan menyebabkan terjadinya swelling (permukaan katoda tidak rata).

1. Retak Pada Blok (Crack in Block)

Retak pada blok katoda terjadi pada saat penyiapan awal tungku reduksi (baking, start up, dan transisi). Kegagalan ini terutama disebabkan adanya thermal shock. Thermal shock disebabkan gradien temperatur pada blok katoda besar. Retak awal yang terjadi akan diperbesar pada awal operasi normal dan berhenti sampai selang waktu tertentu. Retak ini mempermudah penetrasi Na ke blok katoda. Oleh karena itu pada saat baking, start up, dan transisi, tungku reduksi mendapat pengontrolan yang baik.

Secara umum retak pada blok katoda terbagi tiga, yaitu:

- Retak pada arah memanjang (longitudinal crack) disebabkan oleh bottom heaving
- Retak geser (shear crack) disebabkan oleh tekanan dari lapisan bawah akibat pembekuan bath.
- Retak bagian sudut (ear crack) disebabkan oleh thermal stress akibat pre-heating yang tidak sempurna/ baik.

2. Celah & Reta Pada Bagian Pasta (Gap & Crack in Paste)

Gap sering terjadi akibat pengkerutan ramming paste. Ramming paste mengkerut bila melewati temperatur pemanasan 500-600°C. Pengkerutan ini terjadi karena gas-gas mulai terdekomposisi pada temperature ini.

Ramming paste akan terus mengembang hingga pemanasan dibawah temperatur 500°C. Efek mengembang dan mengkerut ini dapat menimbulkan tegangan tekan atau tarik pada ramming paste, hal ini dapat menimbulkan crack. Retak akan semakin besar dengan adanya bath yang menyusup. Bath mulai membeku saat temperatur lebih kecil dari 925°C³, sehingga pembekuan pada gap sangatlah mungkin terjadi.

3. Lubang Pada Bagian Dasar Tungku Reduksi (Potholes in Bottom)

Potholes in Bottom adalah terbentuknya lubang-lubang pada blok katoda akibat erosi. Hal ini dapat disebabkan oleh:

- Distribusi arus yang terpusat pada blok katoda akibat rapat arus tinggi
- Aliran metal yang cepat akibat besarnya gaya elektro magnet

Erosi Pada Dasar Pot

Erosi pada dasar pot (blok katoda) pada dasarnya terjadi dengan dua mekanisme, yaitu:

1. Secara Mekanik, dapat disebabkan oleh:

- Laju aliran metal yang cepat akibat tingginya gaya elektro magnet
- Abrasi oleh alumina/ sludge dan didukung oleh lunaknya material

2. Secara kimia, dapat disebabkan oleh:

- Terbentuknya Al karbida

Mekanismenya:

Dengan adanya cacat blok katoda, maka leburan aluminium dapat masuk dan bereaksi dengan karbon membentuk Al karbida. Hal ini mengakibatkan terjadinya erosi pada permukaan katoda.

Kegagalan Pada Lining Katoda

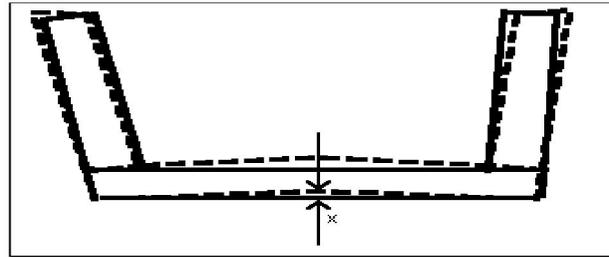
Kegagalan pada lining katoda merupakan bagian kegagalan pot. Kegagalan ini harus dapat diantisipasi agar umur pot dapat diperpanjang. Bertambahnya umur pot tentunya menambah keuntungan produksi.

Beberapa kegagalan yang ditemukan pada lining katoda, dapat berupa:

- Retak
- Penetrasi Na
- Erosi
- Oksidasi
- Celah antara shell dan side wall

Gambar Deformasi Penyangga(Cradle)

Deformasi Penyangga (Cradle) Desain D-2

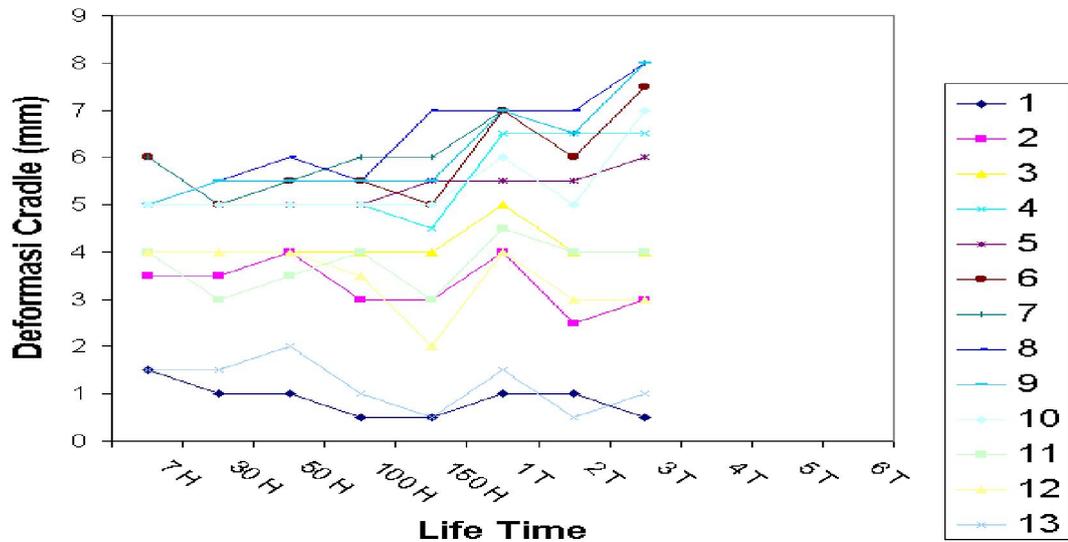


Unit: mm

Nomor Cradle	Life Time										
	7 H	30 H	50 H	100 H	150 H	1 T	2 T	3 T	4 T	5 T	6 T
1	1.5	1	1	0.5	0.5	1	1	0.5			
2	3.5	3.5	4	3	3	4	2.5	3			
3	4	4	4	4	4	5	4	4			
4	5	5	5	5	4.5	6.5	6.5	6.5			
5	6	5	5	5	5.5	5.5	5.5	6			
6	6	5	5.5	5.5	5	7	6	7.5			
7	6	5	5.5	6	6	7	6.5	8			
8	5	5.5	6	5.5	7	7	7	8			
9	5	5.5	5.5	5.5	5.5	7	6.5	8			
10	5	5	5	5	5	6	5	7			
11	4	3	3.5	4	3	4.5	4	4			
12	4	4	4	3.5	2	4	3	3			
13	1.5	1.5	2	1	0.5	1.5	0.5	1			



Grafik Deformasi Cradle



IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengamatan

Data yang diperoleh dari lapangan menunjukkan kegagalan pada cradle. Kegagalan berupa defleksi dan cacat pada sambungan las. Defleksi akan bertambah dengan bertambahnya umur pot. Besarnya beragam tergantung posisi cradle pada pot. Cradle pada bagian tengah pot mengalami defleksi paling besar.

Kemampuan cradle menahan defleksi erat kaitannya dengan panjang umur operasi pot. Jika kemampuan cradle rendah maka defleksi akan terjadi cukup besar, dan mengakibatkan retak pada sambungan las. Retak akan merambat dan dapat menurunkan kemampuan cradle untuk menahan beban dari dalam pot. Operasi pot harus dihentikan dengan kondisi cradle seperti ini.

Umur operasi pot dapat diprediksi melalui besarnya defleksi yang terjadi pada cradle untuk selang waktu tertentu. Dari hasil pemeriksaan di lapangan, bila selama 3 tahun sejak pot beroperasi defleksi yang terjadi kecil maka kecenderungan penambahan defleksi relative kecil terjadi dan diperkirakan umur pot akan mencapai 6 sampai 7 tahun. Sebaliknya jika selama 3 tahun defleksi yang dialami cukup besar dan terus meningkat, umur pot hanya mencapai 4 sampai 5 tahun. Semakin panjang umur operasi pot maka produksi dapat terus berjalan dan biaya produksi dan perawatan dapat ditekan rendah. Analisa Defleksi

Gaya-gaya yang dihasilkan oleh mekanisme reaksi dan perubahan-perubahan di dalam tungku reduksi akan mengakibatkan defleksi pada cradle. Karena kompleksnya mekanisme reaksi dan perubahan yang terjadi, maka analisa defleksi digunakan asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Penyebab defleksi adalah ekspansi katoda blok. Dengan itu titik tangkap gaya-gaya berada dekat blok katoda
2. Defleksi yang dialami ujung atas cradle adalah sama dengan defleksi pada deckplate
3. Pengaruh thermal perlu diperhatikan di sekitar blok katoda

Asumsi pertama diambil karena ekspansi yang dialami blok katoda cukup besar dengan adanya ekspansi Na yang menyusup kedalam blok katoda dan ramming paste (mengisi celah antara blok katoda). Ekspansi ini dapat menimbulkan retak dan celah pada sambungan katoda (ramming paste), ini memudahkan leburan aluminium menyusup melalui celah tersebut.

Akhirnya pada bagian bawah blok katoda akan terdapat endapan atau pembekuan dari bath atau aluminium yang mengakibatkan terangkatnya blok katoda pada sambungan. Hal ini dapat berakibat pada penekanan pada ujung katoda di sekitar brick, kemudian gaya ini akan diteruskan ke shell dan cradle (penopang shell) dalam bentuk gaya tekan

Data Perhitungan Pemuaian Brick Pada bagian Cross Section :

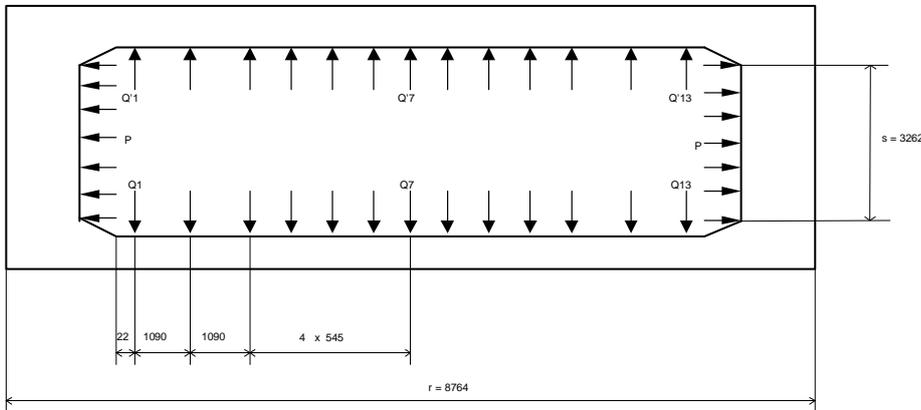
4.3 Data Perhitungan Pemuaian Brick pada bagian Cross section												
<p>Rumus Pemuaian :</p> $\Delta L = L_o \cdot \alpha \cdot \Delta T$ $= L_o \cdot TLE$ <p>Dimana :</p> <p>TLE = Thermal Linier Exp (%)</p> <p>ΔL = Perpanjangan (mm)</p> <p>L_o = Panjang awal (mm)</p>				Data dari tabel-tabel dan grafik Isothermal for D-2 SEC								
				SK 32 pada 1000 ^o C						TLE = 0.58%		
				Insulation (Brick B1) pada 900 ^o C						TLE = 0.15%		
				Insulation (Brick C1) pada 1000 ^o C						TLE = 0.74%		
				Mortar pada 1350 ^o C						TLE = 4.5%		
No.	Jns Brick	Ukuran	Temperatur °C	Lapisan	Jumlah	Warna	Lo (mm)	TLE (%)	ΔL (mm)			
1	Insulation Brick B1	220x110x60	200	1	4	Merah	110	0.033	0.145			
		220x110x60	225	1	3	Hitam	110	0.037	0.122			
		220x110x60	250	1	13.5	Biru	110	0.037	0.549			
			220x110x60	200	2	3.75	Biru	220	0.033	0.272		
			220x110x60	350	2	6.5	Merah	220	0.058	0.829		
				220x110x60	200	3	0.5	Hitam	220	0.033	0.036	
				220x110x60	375	3	1	Merah	220	0.063	0.139	
				220x110x60	500	3	0.5	Biru	220	0.083	0.091	
				220x110x60	350	4	1	Merah	114	0.518	0.591	
	2	Insulation Brick C1	230x114x65	700	3	3	Merah	114	0.518	1.772		
			230x114x65	850	3	12.5	Biru	114	0.629	8.963		
		3	Fire Brick SK-32	220x110x55	700	4	2.25	Biru	220	0.466	2.3067	
220x110x55				905	4	6	Merah	220	0.525	6.93		
				220x110x55	300	5	0.5	Hitam	220	0.174	0.1914	
				220x110x55	500	5	1	Merah	220	0.29	0.638	
				220x110x55	650	5	1	Biru	220	0.377	0.8294	
				220x110x55	300	6	1	Biru	220	0.174	0.3828	
				220x110x55	500	6	1	Merah	220	0.29	0.638	
				220x110x55	710	6	0.5	Hitam	220	0.412	0.4532	
				220x110x55	250	7	0.5	Biru	220	0.145	0.1595	
				220x110x55	410	7	1	Merah	220	0.238	0.5236	
	220x110x55	650		7	1	Hitam	220	0.377	0.8294			
		220x110x55	300	8	1	Biru	220	0.174	0.3828			
		220x110x55	500	8	1	Merah	220	0.29	0.638			
		220x110x55	710	8	0.5	Hitam	220	0.412	0.4532			
		220x110x55	250	9	0.5	Biru	220	0.145	0.1595			
		220x110x55	410	9	1	Merah	220	0.238	0.5236			
		220x110x55	650	9	1	Hitam	220	0.377	0.8294			
		220x110x55	310	10	1	Biru	220	0.18	0.396			
		220x110x55	575	10	1	Merah	220	0.334	0.7348			
		220x110x55	250	11	0.5	Biru	220	0.145	0.1595			
		220x110x55	250	11	1	Merah	220	0.247	0.5434			
		220x110x55	200	12	0.25	Biru	220	0.116	0.0638			
		220x110x55	375	12	1	Merah	220	0.218	0.4796			

Analisa Beban Pada Plat Deck (Deckplate) dan Penyangga (Cradle)

Beban yang bekerja pada cradle erat hubungannya dengan gaya-gaya yang bekerja pada deckplate. Karena analisa beban dimulai dengan perhitungan gaya-gaya yang terjadi pada deckplate.

Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Plat Deck (Deckplate)

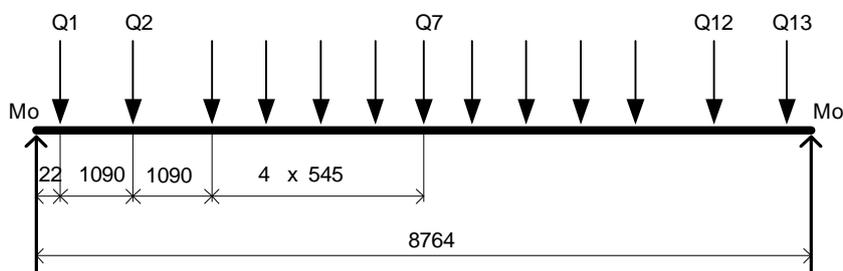
Sesuai dengan bentuk geometrinya, maka gaya-gaya yang bekerja pada deckplate terdistribusi seperti gambar berikut:



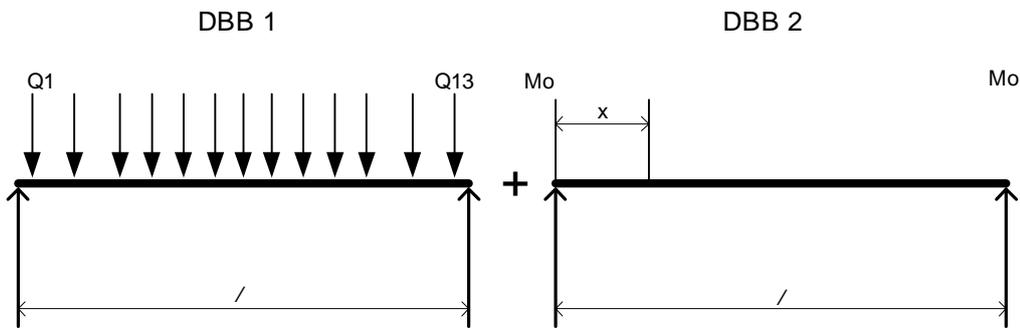
- Q1, Q2, Q3,....., Q13 adalah gaya yang bekerja pada deckplate sebagai reaksi terhadap cradle.
- P adalah gaya terdistribusi yang merupakan reaksi terhadap momen yang ditimbulkan oleh gaya-gaya Q1, Q2, Q3,....., Q13.
- Q1, Q2, Q3,....., Q13 besarnya bervariasi dengan $Q1 = Q13, Q2 = Q12, Q3 = Q11, Q4 = Q10, Q5 = Q9, Q6 = Q8$ dan $Q7$

Diagram benda bebas deckplate sebagai berikut:

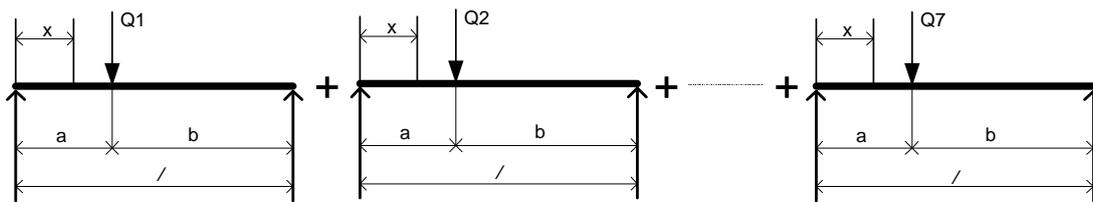
Mo adalah momen akibat gaya P



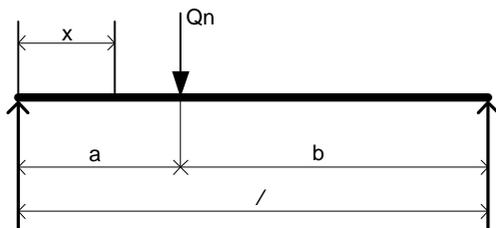
Dengan menggunakan metoda superposisi, kita dapat menghitung defleksi akibat Q1, Q2, Q3,, dan Mo



Dengan DBB1 merupakan superposisi sebagai berikut:



Bentuk umum model diatas dan persamaan defleksinya adalah:



- Defleksi akibat gaya Q_n
 - Untuk $0 < x < a$ dengan $x = [a(a + 2b)/3]^{1/2}$

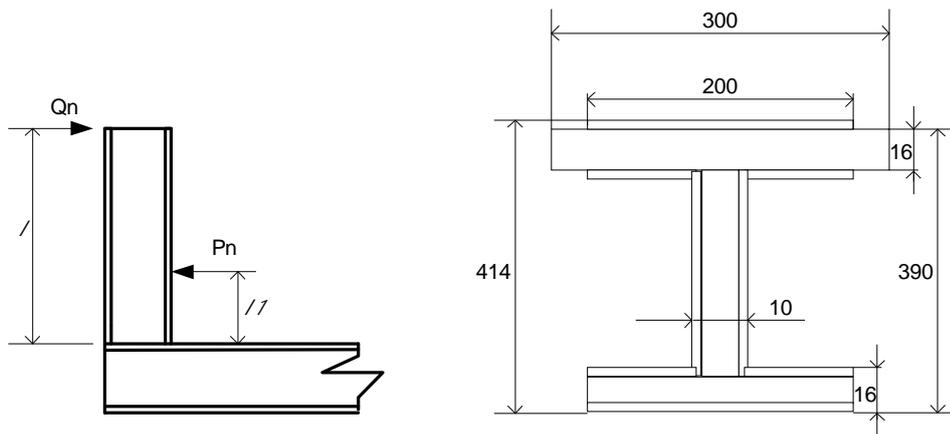
$$Y_{Q_n} = [Q_n \cdot b \cdot x / (6EI l)] (l^2 - b^2 - x^2) = U_n$$

$$= [Q_n \cdot b \cdot x / (6EI l)] [a(a + 2b) - x^2]$$
 - Untuk $a < x < l$ dengan $x = [b(b + 2a)/3]^{1/2}$

$$Y_{Q_n} = [Q_n \cdot a (l - x) / (6EI l)] (l^2 - a^2 - (l - x)^2) = U_n$$

$$= [Q_n \cdot a (l - x) / (6EI l)] [b(b + 2a) - (l - x)^2]$$
- x merupakan jarak tempat terjadinya defleksi maksimum.

Perhitungan Beban Lasan Pada Penyangga (Cradle)



Momen bending / Lentur : $M = P_n \cdot l_1 - Q_n \cdot l$

Gaya Geser (Shear Force) : $F = P_n - Q_n$

Momen Inersia untuk lasan : $j = 405032768 \text{ mm}^4$

Distance of the outer most fibre : $e = h / 2 = 207 \text{ mm}$

Bending modulus section for weld : $W_n = j / 2 = 1956680,039 \text{ mm}^4$

- Tegangan akibat momen bending :

$$p_1 = M / W_n = (931 \cdot P_n - 1652 \cdot Q_n) / 1956680,039$$

- Tegangan geser :

$$p_2 = F / A = (P_n - Q_n) / 8592$$

$$= \{ 227,7328 (P_n - Q_n) \} / 1956680,039$$

Pembahasan Hasil Penelitian

Kegagalan yang terjadi pada pot akan memperpendek umur operasi. Umur operasi yang pendek berarti memperkecil keuntungan. Untuk mengoptimalkan kegagalan yang terjadi pada pot tentunya jenis kegagalan, mekanisme serta penanggulangan kegagalan itu harus diketahui terlebih dahulu. Kegagalan yang terjadi pada pot secara garis besar dapat dilihat di bawah ini:

Kegagalan Dasar Pada Tungku Reduksi (Bottom Failure)

Jenis kegagalannya:

- Keadaan Dasar Tungku Terangkat ke Atas (Bottom Heaving)

Mekanisme :

1. Ekspansi lateral

Penyebab : penetrasi Na yang kemudian membentuk senyawa sodium interkalasi

Mekanisme : 2. Bengkok (Buckling Action)

Penyebab : karena tekanan akibat pembekuan senyawa yang menyusup ke bagian dasar katoda blok.

- Retak

Mekanisme : adanya thermal stress

Penyebab : pemanasan awal yang tidak tepat

- Retak dan celah pada sambungan antar katoda

Penyebab : pengkerutan selama baking

V.KESIMPULAN

Untuk mengantisipasi kegagalan pada las adalah mengupayakan sedemikian kecil penetrasi Na melalui gap antara katoda dan ramming paste pada sambungan, hal ini dapat dilakukan dengan menjaga pemanasan awal dengan tepat. Pemanasan awal yang tepat jika distribusi temperatur pada katoda blok merata sehingga gradient temperaturnya kecil.

Akibat ekspansi material pada pot dan heaving katoda blok menyebabkan kegagalan pada lasan menjadi besar. Permasalahannya adalah tidak adanya eksperimen yang mengkaitkan antara laju penetrasi Na terhadap heaving katoda blok. Sehingga dalam pendesainan banyak kelemahan yang tidak terdeteksi jelas. Penulis menyarankan agar upaya untuk itu terus diusahakan.

Deformasi pada shell bagian tengah dapat dikurangi dengan menambah penyangga (cradle) pada bagian ujungnya berdasarkan kesimpulan. Ketebalannya berdasarkan perhitungan gaya pada plat deck (deckplate) Menghindari patah baut jika deformasi antara plat deck (deckplate) dan tungku (shell) pada kondisi optimum, sehingga penambahan tebal plat deck (deckplate) akan sangat menolong baut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Popov, E.P. 1996. Mekanika Teknik (terjemahan, edisi kedua). Erlangga.
2. Dieter, George E. 1990. Metalurgi Mekanik (terjemahan, edisi ketiga). Erlangga
3. Soemono. 1985. Ilmu Gaya Bangunan-Bangunan Statis Tak Tertentu. Djambatan
4. Grjotheim, K & Welch, B.J. 1988. Aluminum Smelter Technology (2nd edition). Aluminum-Verlag.
5. Morten Sorlie & Harold A. Oye.1988. Cathodes in Aluminum Electrolysis (2nd edition). Aluminum-Verlag.
6. Niemann, Gustav.1960.Machine Elements. Volume 1. Sprnger-Verlag.