

PERANCANGAN ALAT *CONSTANT EXTENSION RATE*

Oleh :

Alim Mardhi, Roziq Himawan, Sri Nitiswati
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN

ABSTRAK

PERANCANGAN ALAT *CONSTANT EXTENSION RATE*. *Stress Corrosion Cracking (SCC)* adalah jenis korosi yang signifikan berpengaruh terhadap menurunnya integritas komponen struktur reaktor. Penelitian mengenai SCC telah banyak dilakukan oleh para peneliti. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan melakukan pengujian material di dalam *autoclave* temperatur tinggi dengan lingkungan korosif dan tekanan diatas tekanan atmosfer. Di dalam *autoclave* tersebut dilengkapi dengan suatu alat tambahan yang dinamakan *constant extension rate (CER)*. Fungsi CER ini adalah untuk memberikan tegangan pada spesimen dengan cara ditarik dan ditahan konstan pada tegangan tertentu. *Autoclave* yang dimiliki oleh PTRKN belum dilengkapi dengan CER, sehingga untuk kegiatan penelitian SCC perlu ditambahkan CER. Makalah ini memuat rancangan alat CER agar dapat dipabrikasi dapat digunakan bersama *autoclave* untuk kegiatan penelitian SCC. Dasar perhitungan perancangan menggunakan teori mekanika bahan dan ilmu perancangan elemen mesin. Dari hasil perancangan telah dilakukan *review* dan dapat disimpulkan bahwa rancangan dapat diterima dan selanjutnya dapat diteruskan dengan proses fabrikasi CER sehingga bersama-sama dengan *autoclave* dapat digunakan untuk penelitian SCC.

Kata kunci: *stress corrosion cracking, autoclave, constant extension rate.*

ABSTRACT

DESIGN OF *CONSTANT EXTENSION RATE EQUIPMENT*. *Stress Corrosion Cracking (SCC)* is a corrosion has influence to decrease structure integrity of reactor component, significantly. Research on stress corrosion cracking has been done among the researchers. One of the method was utilized by performed a testing of material in autoclave with high temperature, corrosive environment and pressure above atmosphere pressure. The autoclave equipped by additional equipment called constant extension rate (CER). The function of CER is to apply a tensile stress to the specimen and keep constant in certain stress. Autoclave in PTRKN doesn't equipped by CER, so to perform a research on stress corrosion cracking needs CER. This paper tell about design of CER, so can be fabricated and finally together with autoclave can be utilized for resaerch activity on SCC. Concept of design calculation utilized machine design concept and material mechanics theory. Result of design has been reviewed and concluded that design could be accepted, and furthermore the CER can be fabricated so together with autoclave can be utilized for research on SCC.

Keywords: *stress corrosion cracking, autoclave, constant extension rate.*

PENDAHULUAN

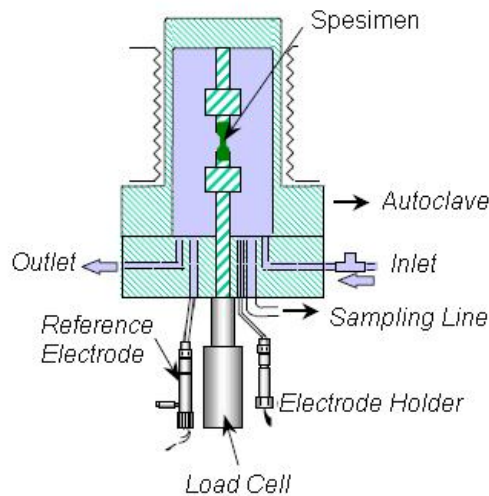
Stress corrosion cracking (SCC) adalah jenis korosi yang terjadi karena kombinasi antara tegangan tarik, lingkungan yang korosif dan kondisi metalurgi bahan^[1]. Material yang telah memiliki inisiasi retak dan diberi tegangan tertentu akan lebih cepat mengalami degradasi bila dalam lingkungan yang korosif. SCC dapat terjadi pada komponen-komponen sistem primer reaktor, pada bejana tekan khususnya pada bagian *belt line* dan sambungan nosel. Pada alat penukar panas, SCC terjadi pada bagian *U-bend*. Terjadinya SCC dapat mengancam integritas struktur dan keselamatan reaktor. Oleh karena itu kajian tentang fenomena SCC terhadap integritas komponen struktur reaktor perlu dilakukan untuk meningkatkan keselamatan reaktor. Dalam mengamati fenomena SCC, dapat digunakan alat yang dinamakan *Constant Extension Rate (CER)*. Alat ini digunakan bersama dengan

autoclave. Prinsipnya kerjanya adalah CER akan memberikan tegangan konstan tertentu pada spesimen, kemudian CER dimasukkan kedalam *autoclave* yang bertekanan dan berisi cairan korosif. *Autoclave* yang dimiliki Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) perlu dilengkapi dengan alat CER. Sebagai tahap awal dibuat rancangan alat CER dengan merujuk model alat CER yang umum digunakan untuk penelitian SCC. Dasar perancangan CER meliputi pemilihan bahan, penentuan dimensi, perhitungan kekuatan bahan dan tegangan tarik maksimum CER pada kondisi operasi. Hasil perancangan ditampilkan dalam bentuk gambar teknik menggunakan piranti lunak *Autocad*. Gambar CER sudah dilengkapi ukuran dimensi dan tanda pengerjaan permesinan sehingga hasil perancangan dapat dilakukan proses pabrikan dan alat CER ini dapat digunakan untuk melengkapi *autoclave*.

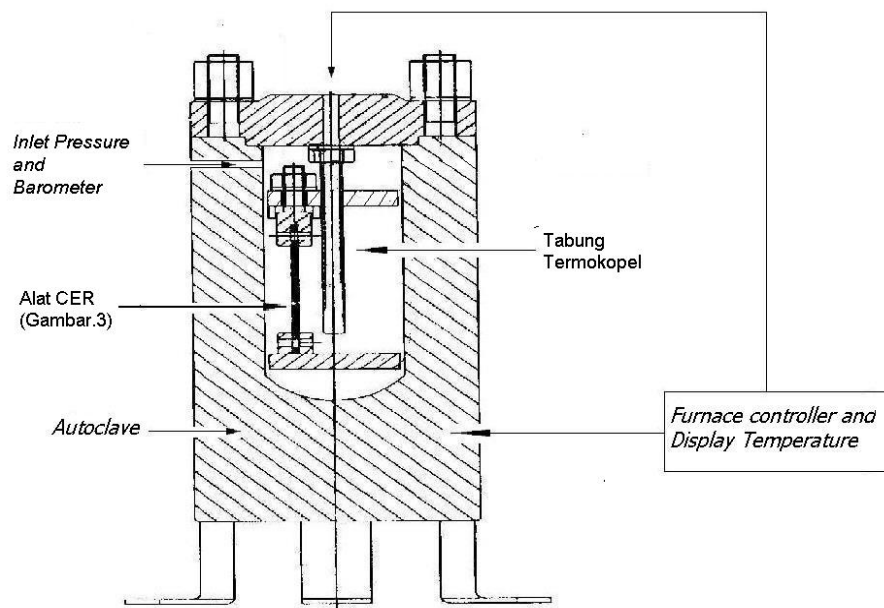
TEORI

Pemodelan alat CER ditunjukkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1^[2] dapat dilihat bahwa CER terdiri dari spesimen yang ditarik oleh *load cell*, dimasukkan kedalam *autoclave* yang dialiri fluida yang korosif^[2]. Berdasarkan ide dari referensi^[2] ini kemudian dirancang suatu rangkaian model alat CER beserta *autoclave* yang telah dilengkapi *furnace* beserta alat pengatur suhu dan tampilan suhu hasil dari pengukuran termokopel yang terpasang pada tabung termokopel, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Kemampuan *autoclave* ini dirancang berkapasitas tekanan

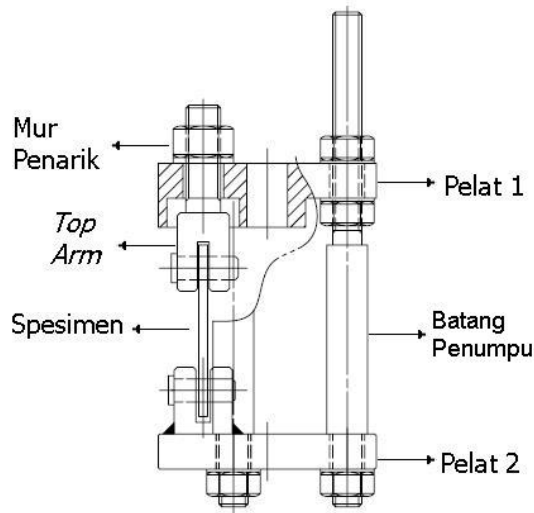
maksimum 300 Bar, dengan temperatur tungku maksimum 350°C. Gambar 3 adalah rancangan permodelan alat CER, yang terdiri dari spesimen yang dipegang oleh *top arm* dan memiliki mur penarik sebagai pengganti *load cell* (Gambar 1). Pelat 1 dan pelat 2 serta batang penumpu merupakan komponen penumpu kekuatan alat dalam menerima gaya. Pada penelitian fenomena SCC, alat ini akan dimasukkan kedalam *autoclave* dan di kondisikan dengan temperatur fluida 100°C, tekanan 50 Bar. Dengan beban tarik CER sebesar 490 MPa^[2]



Gambar 1. Alat CER dan *Autoclave*^[2]



Gambar 2. Rancangan pemodelan alat CER dan *Autoclave*.



Gambar 3. Rancangan pemodelan alat CER

Dalam pemilihan material untuk alat CER dipilih material logam yang tahan korosi dan suhu tinggi. Logam yang dipilih adalah SUS304 yaitu jenis logam *stainless steel* yang mengandung nikel sekitar 15-20% dan 0,1% karbon sehingga paduannya menghasilkan jenis logam yang

memiliki kekuatan dan ketangguhan yang besar, tahan suhu tinggi dan yang terpenting sangat tahan terhadap korosi. Tabel 1 adalah sifat material SUS304.

Tabel 1. Sifat Material SUS 304 ^[1]

<i>Yield Strength</i> (MPa)	205
<i>Tensile Strength</i> (MPa)	515
Modulus Elastis (GPa)	193
<i>Poisson Ratio</i>	0.30
Konduktivitas Termal (W/m.C)	41.5
<i>Spesifik Heat</i> (J/Kg.C)	502.4
Berat Jenis (g/cm ³)	8.00

Pada analisis perancangan kekuatan bahan alat CER ini, digunakan perhitungan mekanika kekuatan bahan. Persamaan yang digunakan ialah persamaan kesetimbangan gaya sesuai hukum *Newton* yaitu: ^[3]

$$\sum F = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\sum M = 0 \dots\dots\dots(2)$$

Dengan :

F = gaya-gaya yang bekerja pada komponen (N)

M = Momen yang terjadi pada komponen (N.m)

Untuk perhitungan tegangan axial murni yang terjadi pada komponen digunakan persamaan ^[3]:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(3)$$

Untuk perhitungan tegangan tarik dan tegangan geser yang diijinkan menggunakan persamaan:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_y}{n} \dots\dots\dots(4)$$

$$\tau_i = \frac{\sigma_i}{2} \dots\dots\dots(5)$$

Berdasarkan persamaan (4) dan (5) diatas maka perhitungan tegangan tarik dan tegangan geser yang diijinkan untuk bahan jenis SUS304 adalah $\sigma_i = 122$ MPa dan $\tau_i = 61$ MPa

Dengan :

σ	=	Tegangan tarik (N/mm ² , MPa)
P	=	Beban (N)
A	=	Luas area yang dikenai beban (mm ²)
σ_y	=	Tegangan luluh bahan (N/mm ² , MPa)
σ_i	=	Tegangan yang diijinkan (N/mm ² , MPa)
τ_i	=	Tegangan geser yang diijinkan (N/mm ² , MPa)
n	=	Faktor keamanan (1.67)

PERHITUNGAN KEKUATAN BAHAN

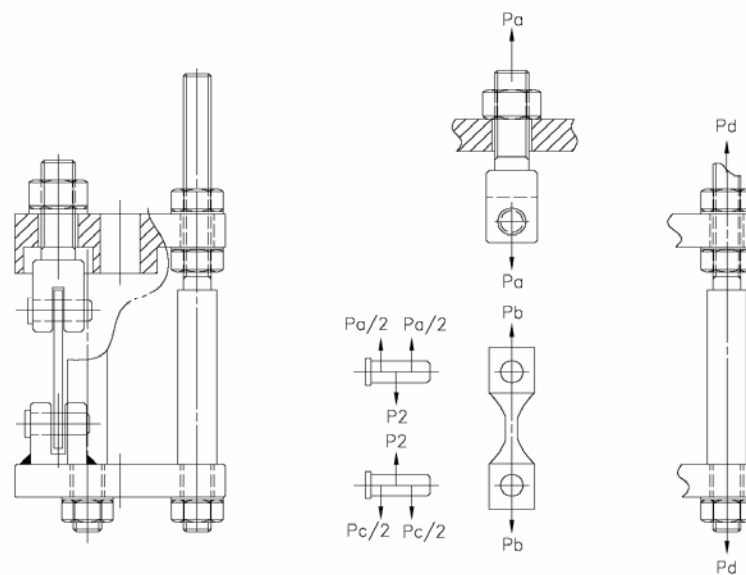
Berdasarkan rancangan pemodelan pada Gambar 3, dibuat diagram benda bebas (DBB) alat CER seperti ditunjukkan pada Gambar 4. DBB ini diperlukan untuk melihat distribusi gaya yang terjadi pada komponen dan sebagai acuan dalam menghitung kekuatan bahan.

Pada pengujian SCC, spesimen akan ditarik dengan tegangan tertentu dalam kondisi lingkungan

yang korosif. Untuk itu spesimen direncanakan akan ditarik dengan tegangan (σ_p) sebesar 490 MPa, sehingga beban yang diperlukan (P_b) yaitu sebesar:

$$\begin{aligned} P_b &= \sigma_p \times A \\ &= 490 \times 8.6 \text{ (MPa} \times \text{mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

Dari DBB (Gambar 4) didapat hubungan bahwa $P_b = P_a = 4.214 \text{ KN}$. Untuk menghasilkan tegangan tarik sebesar P_a maka dirancang mekanisme komponen *top arm* yang memiliki mur yang dapat dikencangkan sehingga dapat menghasilkan gaya tarik yang dibutuhkan. Dari hasil rancangan dipilih mur dengan ukuran M12.



Gambar 4. Diagram Benda Bebas (DBB) alat CER.

Perhitungan gaya tarik maksimum yang dapat dihasilkan ketika mur tersebut dikencangkan^[4] adalah sebesar:

$$\begin{aligned} P_p &= \sigma_i \times A \\ &= 122 \times 84 \text{ (MPa} \times \text{mm}^2\text{)} \\ &= 10.248 \text{ KN} \end{aligned}$$

Karena $P_p > P_a$ maka komponen ini dapat menghasilkan tegangan tarik yang dibutuhkan oleh spesimen dan aman. Perhitungan kekuatan bahan tiap komponen adalah sebagai berikut:

1. *Top arm* :
$$P_p = \sigma_i \times A = 122 \times 113.04 \text{ (MPa} \times \text{mm}^2\text{)}$$
2. Pin1 dan Pin2 :
$$P_p = \tau_i \times 2A = 61 \times 153.86 \text{ (MPa} \times \text{mm}^2\text{)} = 4.692 \text{ KN}$$

3. Batang Penumpu :
$$P_p = \sigma_i \times A = 122 \times 153.86 \text{ (MPa} \times \text{mm}^2\text{)}$$
4. Tegangan tarik mur M10 bila dikencangkan^[4].

Tegangan ini merupakan tegangan tarik yang diaplikasikan pada batang penumpu.

5. Pelat 1 dan 2
$$P_p = \tau_i \times A = 61 \times 602.88 \text{ (MPa} \times \text{mm}^2\text{)} = 36 \text{ KN}$$

Perbandingan antara beban yang direncanakan P_p (kemampuan menahan beban maksimum) dengan dengan beban yang diterapkan P_t (beban yang di pakai pada saat pengujian) ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban yang direncanakan (P_p) versus beban yang diterapkan (P_t)

Nama Komponen	P_p	P_t
	(KN)	(KN)
1. Top Arm	13.790	4.214
2. Pin 1	4.692	4.214
3. Spesimen	----	4.214
4. Pin 2	4.692	4.214
5. Batang Penyokong	18.77	7.112
6. Pelat 1	36	4.214
7. Pelat 2	36	4.214

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan diatas, didapat bahwa untuk menarik spesimen sehingga menghasilkan tegangan sebesar 490 MPa diperlukan gaya sebesar 4.214 KN. Dari pemodelan alat diketahui mekanisme untuk menarik spesimen ada pada komponen *top arm* yaitu pada kekuatan tarik mur yang dikencangkan. Dengan diperlukannya gaya sebesar 4.214 KN maka dipilihlah dimensi mur M12 dengan perhitungan kekuatan tarik maksimum pada saat dikencangkan sebesar 10.248 KN. Pemilihan ini sudah tepat dikarenakan tegangan tarik maksimum mur jauh lebih besar dari tegangan yang dibutuhkan. Dari DBB didapat distribusi gaya setelah mur M12 dikencangkan maka akan berhubungan dengan komponen Pin1. Pada komponen Pin1 dominan gaya yang terjadi adalah gaya geser akibat tarikan komponen *top arm* (P_a) yaitu sebesar 4.214 KN. Untuk tegangan geser maksimum yang terjadi pada Pin1 sesuai dengan DBB menghasilkan gaya geser maksimum sebesar 4.692 KN. Gaya geser ini lebih besar dari gaya yang aplikasi sehingga dinilai aman. Dari Pin1 gaya baru didistribusikan ke spesimen dan mendapatkan gaya yang sama dengan P_a . Dan setelah itu spesimen ditumpu oleh Pin2. Karena dimensi dan bahan sama dengan Pin1 maka kekuatan Pin2 sama dengan Pin1.

Komponen pelat 1 dan pelat 2 serta batang penumpu berfungsi untuk menumpu kekuatan alat. Gaya yang bekerja pada pelat 1 adalah gaya geser akibat reaksi dari mur M12 dan mur M10 yang menekan permukaan pelat pada saat dikencangkan. Karena gaya geser maksimum pelat 1 dan pelat 2 sangat besar yaitu sebesar 36 KN maka faktor keamanan komponen dapat diabaikan. Sebagai pertimbangan jika tekanan permukaan mur sama dengan besar gaya tarik aplikasi akibat mur dikencangkan yaitu sebesar 4.214 KN, maka nilai ini masih sangat jauh dibawah tegangan geser maksimum komponen dengan kata lain komponen ini sangat aman. Komponen batang penumpu ada

tiga buah yang sama. Untuk gaya tarik maksimum satu batang penumpu adalah sebesar 18.77 KN.

Gaya yang bekerja untuk satu batang penumpu adalah gaya akibat mur M10 yang dikencangkan pada kedua ujungnya yaitu sebesar 7.112 KN. Juga ada sedikit gaya akibat reaksi dari gaya tarik spesimen pada pelat 2 yang masing-masing batang bervariasi besarnya. Namun gaya-gaya ini dapat diabaikan karena gaya tarik maksimum komponen sangat besar dibandingkan dengan gaya aplikasi pada alat secara keseluruhan.

KESIMPULAN

Dari perhitungan dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa data hasil perhitungan perancangan komponen-komponen alat CER sudah memenuhi persyaratan keamanan. Pemilihan bahan yang tahan terhadap korosi dan suhu tinggi memungkinkan pemakaian alat CER ini secara maksimal dalam lingkungan yang korosif. Hasil perancangan telah dilakukan *review* dan dapat disimpulkan bahwa rancangan dapat diterima dan selanjutnya dapat diteruskan dengan proses fabrikasi CER sehingga bersama-sama dengan *autoclave* dapat digunakan untuk penelitian SCC.

DAFTAR PUSTAKA

1. WILLIAM D CALLISTER JR, "Fundamentals Science and Engineering, John Willey and Sons Inc", USA, 2004.
2. SHUNSUKE UCHIDA, "Stress Corrosion Cracking in Structural Materials in Primary Cooling Systems of Nuclear Power Plant", Tohoku University, Japan, 2005
3. GERE, TIMOSHENKO, HANS J WOSPAKRIK, "Mekanika Bahan", Erlangga, 1996.
4. R.S KHURMI, J.K GUPTA, "A Text Book of Machine Design", Eurasia Publishing House Ltd, New Delhi, 1982.