

# Pembuatan LEU Foil dengan Teknik Pengerolan untuk Produksi Mo-99

Boybul, Susworo, Dadang  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN  
Kawasan Puspittek Gd 20, Serpong, 15314

**ABSTRAK** — PEMBUATAN LEU FOIL DENGAN TEKNIK Pengerolan untuk produksi Mo-99. Telah dilakukan kegiatan pembuatan uranium foil *low enrich uranium* (LEU) untuk memproduksi Mo-99. Tujuan dari kegiatan ini adalah membuat foil uranium, uranium perkayaan rendah untuk dijadikan foil target. Kegiatan ini diawali dengan pembuatan pelat tutup dan pelat bingkai dari bahan *carbon steel* yang berfungsi sebagai pengungkung ingot uranium. Setelah dilakukan pengelasan pada sekeliling komposit dilanjutkan dengan pengerolan panas dan pengerolan dingin sehingga diperoleh foil uranium dengan ketebalan lebih kurang 0,125 mm. Selanjutnya foil uranium yang dihasilkan dianil pada suhu 725 °C. Hasil dari pembuatan foil ini diperoleh dua buah foil uranium dengan tebal 0,124 mm dan 0,125 mm, lebar foil 53 mm dan 53 mm, dan panjang 180 mm dan 185 mm. Permukaan foil halus dan rata, tidak terdapat cacat berlubang dan kotoran sehingga foil ini memenuhi syarat untuk dirakit menjadi foil target.

**Kata Kunci:** foil uranium, teknik rolling, produksi Mo-99

**ABSTRACT** — PRODUCTION OF LEU FOIL BY ROLLING TECHNIQUE FOR Mo-99 PRODUCTION. A research on the production of low enriched uranium (LEU) foil production by rolling technique for Mo-99 production has been done. The objective is to produce uranium foil, i.e. low enriched uranium to be made available as foil target. The research began with the production of plate cap and plate frame of carbon steel, which serves as the cladding for uranium ingot. Upon welding the around the composite, the sample was hot rolled and cold rolled to gain uranium foil of around 0,125 mm thin and followed by annealing at 725 °C. The sample will produce two uranium foils of 0,124 mm and 0,125 mm thin, 53 mm and 53 mm wide, 180 mm and 185 mm long. The foil product was smooth and flat without holes or dirt that the foil fulfilled the requirement to be assembled as foil target.

**Key words:** uranium foil, rolling technique, Mo-99 production

## I. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi pembuatan foil target *low enrich uranium* (LEU) untuk memproduksi Mo-99 yang nantinya akan dipakai untuk pembuatan generator Tc-99 yang banyak dipakai untuk kedokteran nuklir. Dalam pengembangan foil target LEU, kegiatan penelitian yang akan dilakukan adalah meliputi pembuatan pelat tutup dan pelat bingkai yang berfungsi mengungkung ingot uranium dari oksidasi udara, dilanjutkan dengan pengerolan panas dan dingin sehingga dihasilkan foil uranium dengan ketebalan yang memenuhi syarat.

Technetium-99 yang diperoleh dari Mo-99 banyak dipakai untuk keperluan kesehatan. Sedangkan untuk memperoleh Mo-99 biasa dilakukan dengan mengiradiasi target uranium pengayaan tinggi (HEU) di dalam reaktor riset. Namun karena ada batasan penggunaan HEU untuk mencegah penyimpangannya untuk senjata nuklir maka dikembangkan penggunaan foil target dari uranium pengayaan rendah (LEU). Pada saat ini masih sedikit negara penghasil Mo-99 yang menggunakan LEU. Beberapa negara yang sudah atau sedang mengembangkan teknik produksi Mo-99 dengan menggunakan LEU adalah Argentina, Australia, Brazil, Canada, India, U.S., dan Indonesia. Pengembangan foil target dari LEU untuk produksi Mo-99 yang akan menghasilkan Tc-99 adalah sangat berprospek untuk industri di bidang radioisotop untuk diaplikasikan di dunia kesehatan. Pada tahun 2005, IAEA telah mengkoordinasikan negara-negara yang tergabung dalam kegiatan pengembangan LEU foil target untuk produksi Mo-99 dalam suatu kegiatan proyek yang disebut CRP (*Co-ordinated Research Project*) dan Indonesia merupakan salah satu anggotanya. Dengan latar belakang tersebut di atas, perlu diusulkan suatu kegiatan penelitian yang akan mempelajari tahapan-tahapan pembuatan foil target mulai dari pembuatan foil uranium, penyiapan target pipa aluminium, perakitan, pengelasan, pengujian kebocoran, iradiasi, pembongkaran dan pemrosesan. Parameter yang akan dipelajari adalah parameter pembuatan foil uranium untuk mendapatkan ketebalan foil yang sama, parameter *quenching* foil uranium untuk mendapatkan tingkat homogenitas fasa- $\hat{a}$  dan diameter butiran yang halus

Serpihan LEU dilebur untuk mendapatkan ingot LEU. Ingot yang diperoleh dirol untuk mendapatkan foil LEU. Foil LEU tersebut dilakukan *quenching* dengan suhu dan waktu tertentu untuk mendapatkan fasa  $\hat{a}$ . Hasilnya diuji besar butir dengan mikroskop optik dan homogenitas fasa  $\hat{a}$  diuji dengan XRD. Foil target yang diperoleh dirakit dimasukkan diantara 2 buah tabung pipa Al yang mempunyai diameter berbeda. Untuk keperluan perakitan tersebut, permukaan pipa dalam dibuat groove dengan kedalaman tertentu untuk memasang foil LEU. Pipa dalam yang sudah dipasang foil LEU kemudian dimasukkan kedalam pipa luar yang mempunyai diameter lebih besar. Dua pipa konsentris yang sudah berisi foil LEU kemudian diekspansi untuk merapatkan permukaan foil didalam pipa Al. Kemudian kedua ujung pipa dilas

dengan parameter tertentu. Hasilnya diuji kebocoran dengan helium leak test dan uji metalografi.

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari kegiatan ini adalah untuk penguasaan teknologi pembuatan foil LEU sehingga didapatkan foil LEU dengan ketebalan merata pada seluruh permukaan sesuai dengan spesifikasi dan tidak ada cacat seperti lubang atau bolong, dan kotoran yang menempel pada permukaan foil.

## II. TATA KERJA

### A. Bahan

Logam uranium, Pelat SS, Pelat baja carbon, Alkohol absolut, pa., Tissu, Gas Argon.

### B. Alat

Mikrometer, Gunting, Penggaris, Mesin rol, Mesin bubut, Mesin las, Desikator, Alat vakum, Ultrasonic cleaner, Tungku pemanas.

### C. Cara kerja

#### 1) Pembuatan pelat tutup dan pelat bingkai

1. Siapkan pelat baja karbon yang tebalnya sama atau mendekati tebal INGOT uranium yang akan dirol. Tebal FRAME (0.02 mm) lebih besar dari tebal ingot. Tebal COVER sama dengan tebal FRAME
2. Potong bahan plat baja karbon rendah untuk sebuah frame dan dua buah cover menjadi ukuran 13 cm x 13 cm, persegi.
3. Potongan ketiganya difrais sehingga menjadi 12.7 cm x 12.7 cm.
4. Untuk frame, buat lubang ditengahnya sesuai atau 0.05 mm lebih besar dari dimensi ingot uranium (lihat dimensi ingot pada lembar kendali).
5. Spesifikasi untuk pelat cover dan frame disesuaikan dengan ingot yang akan dirol. Range ketebalan pelat bahan berkisar antara 3 sampai 6 mm.

#### 2) Pembungkusan Ingot Uranium

1. Gunakan jas lab dan sarung tangan karet.
2. Siapkan ingot uranium yang akan dirol, ukur dimensi dan beratnya. Catat di *log book* atau lembar kendali.
3. Siapkan dan buat pasta Yttrium-oxide/Alcohol slurry.
4. Ingot uranium disimpan dalam kontainer vakum dan beri gas *iner* sebelum dirakit. Ingot dengan berat 100 – 300g diambil dari kontainer. Lapisi ingot dengan Yttrium-oxide/Alcohol slurry kemudian keringkan dengan pengering udara.
5. Periksa kedua cover dari kemungkinan kotoran atau karat. Apabila ada karat, hilangkan sampai benar-benar bersih.
6. Pilih frame yang tebalnya sesuai. Tebal frame 0.02 mm lebih tebal dari tebal ingot. Siapkan ketiga komponen – plat cover atas dan bawah dan frame diletakkan ditengah antara keduanya.

7. Komponen rakitan dibungkus plastik atau kertas yang bersih supaya tidak terkontaminasi atau kotor
  8. Pasang *chill block* di atas balok aluminium (3 -5 cm agak kepinggir) di atas meja kerja, agar mudah waktu penjepitan dengan C-klem.
  9. Pasang plat cover bawah di atas *chill block*. *Chill block* harus berada persis di tengah plat cover.
  10. Pasang Plat Frame di atas plat cover.
  11. Lapisi lubang Frame dan permukaan plat cover bawah yang kelihatan pada lubang Frame dengan Yttrium-oxide kental.
  12. Pasang/masukkan ingot yang sudah dilapisi Yttrium-oxide dalam lubang frame.
  13. Lapisi permukaan dalam plat cover atas dengan Yttrium-oxide kental di bagian yang akan menutupi ingot. 2 cm dari pinggir cover tidak boleh terkena Yttrium-oxide.
  14. Pasang plat cover atas menutupi ingot.
  15. Pasang *chill block* kedua diatas plat cover atas dan pastikan rakitan pada posisi yang pas. *Chill block* berada simetris ditengah.
  16. C-klem dipasang dengan menjepit kedua *chill block* dan kemudian kencangkan. Rakitan siap untuk dilas.
  17. Plat (cover dan frame) yang telah terakit dan masih kondisi diklem kemudian dilas sekelilingnya. Amper pelasan awal 50 – 100 Amp. Periksa dan bersihkan kotoran/oksidasi hasil pelasan setelah pelasan selesai. Pilih kawat *filler* pelasan yang sesuai.
  18. Las ulang lagi sekelilingnya dengan seting amper 200 – 300 amp.
  19. Periksa kembali hasil las dari kemungkinan retak atau ada lubang. Apabila ada terlihat ada retak, bersihkan dan dilas ulang.
  20. Apabila sudah diperoleh pelasan yang baik, kendurkan klem dan lepas *chill* kemudian rakitan komposit dibiarkan mendingin.
  21. Setelah rakitan sudah dingin masukkan dalam amplop *Stainless Steel* SS, lipat rapat-rapat dan lakukan aniling pada suhu 625°C selama 24 jam untuk memperbaiki/mengembalikan kondisi struktur semula ingot uranium.
  22. Setelah dingin, buka amplop/bungkus SS, rakitan komposit siap untuk proses rol panas.
- #### 3) Perolan Panas Komposit
1. Periksa kesejajaran kedua roda rol sebelum dioperasikan. Pastikan permukaan rol dalam kondisi bersih dari kotoran, karat atau kerak yang melekat. Apabila ada kotoran, karat atau kerak yang melekat kuat pada permukaan rol, bersihkan dengan alkohol atau acetone atau kalau perlu gunakan ampelas (grit – 600) kemudian dilap dengan bersih.
  2. Tungku pemanas diset pada temperatur 625°C (konstan). Gunakan tang panjang untuk memegang rakitan LEU dan masukkan rakitan

ke dalam tungku untuk pemanasan awal pada suhu 625°C selama 1 jam.

3. Periksa dan kalau perlu seting kembali kesejajaran rol.
  4. Untuk tahap awal (1 – 5) pas reduksi atau pengurangan dibatasi < 5 % per pas/tahap dari tebal sebelumnya. Rakitan kemudian dirol dengan posisi tegak lurus terhadap rol saat masuk rol. Setiap tahap rol, rakitan/komposit diputar 180°(dibalik) dan ujung yang pertama kali masuk rol tetap sama selama proses perolan.
  5. Setiap tahap rol komposit dipanaskan kembali selama 10 menit.
  6. Secara perlahan-lahan naikan reduksi perpass hingga 10 %.
  7. Setelah ketebalan komposit menjadi  $\pm 3$  mm, komposit menjadi lembaran panjang hingga melebihi ukuran tungku. Biarkan pada suhu kamar sampai dingin.
  8. Supaya bisa masuk lagi ke dalam tungku untuk dipanaskan kembali, potong ujung depan dan belakang lembar komposit kurang-lebih 3 cm dari ujung foil. Kemudian ujung potongan ditutup dengan las.
  9. Setelah pemanasan selama 20 menit, komposit dirol kembali sampai 10 kali dengan reduksi 10 %.
  10. Selesai perolan, lembar komposit di anil/panaskan selama 30 menit pada suhu 625°.
  11. Potong material kelongsong bagian luar di empat sisinya, buka dan ambil foilnya. Kumpulkan pada wadah plastik sisa potongan atau bekas kelongsong.
  12. Hasilnya adalah foil uranium dengan ketebalan  $\pm 0.5 - 0.75$  mm.
  13. Foil kemudian di *etching* atau cuci secara kimia dengan asam nitrat konsentrat 50 %/solusi air 50 % untuk menghilangkan oksidasi. Waktu pencucian 2 – 10 menit.
  14. Foil dipotong persegi dengan ukuran disesuaikan dengan cara yang akan dilakukan proses berikutnya yaitu perolan dingin.
  15. Periksa permukaan foil, bersihkan dan hilangkan jika masih ada kotoran yang melekat pada permukaan foil dengan kertas ampelas halus dan alkohol. Lakukan dengan hati-hati. Kotoran yang masih melekat pada foil jika tidak dihilangkan akan menyebabkan terjadinya lobang pada foil dan permukaan tidak rata setelah proses perolan dingin.
  16. Sekarang material foil siap untuk proses perolan dingin.
- 4) *Perolan Dingin Uranium*
1. Potong Lembar SS 304 sesuai kebutuhan dengan memperhatikan ukuran uranium yang akan dirol dingin. Lebar SS, tambah 6 cm dari lebar uranium, panjang dua kali panjang

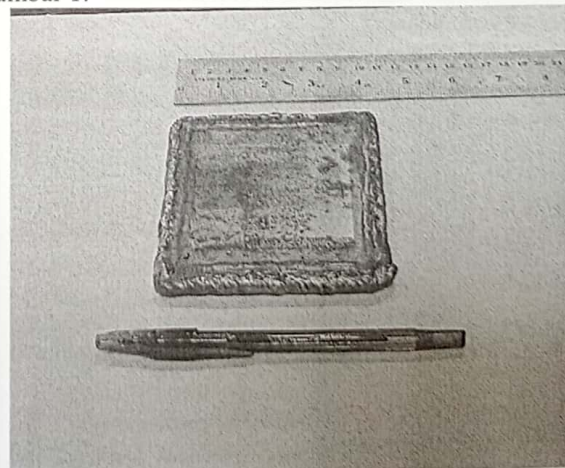
uranium ditambah minimum 6 cm dari panjang uranium.

2. Bersihkan permukaan SS dan didegreasing (pencucian dengan uap perchlorethylen)
3. Lipat panjang SS menjadi dua sama panjang dan lipatan dibuat rata, permukaan yang baik dan bersih untuk bagian dalam.
4. Sebelum foil uranium dimasukkan/disisipkan ke dalam lipatan SS, terlebih dahulu lipatan dirol hanya untuk menghilangkan radius lipatannya.
5. Sisipkan dan masukkan uranium dalam lipatan SS sejauh mungkin dan pada posisi di tengah-tengah lebarnya.
6. Lakukan rol dingin uranium bersama lipatan lembar SS dengan maksimum reduksi setiap pas perolan 10 %. Ujung yang pertama masuk rol selalu tetap di setiap pas rol berikutnya hanya permukaannya dibalik/diputar 180°.
7. Setelah reduksi sampai 50 – 70 %, lipatan lembar SS disiapkan lagi (seperti langkah 1 – 5). Sebelum uranium disisipkan kedalam lipatan SS yang baru, ujung uranium atau foil dibalik yang awalnya depan sekarang menjadi belakang. Lakukan perolan dingin dengan kontinyu hingga 15 – 40 pas. Tergantung tebal yang dihasilkan apakah sudah tercapai seperti yang diinginkan ( $0.125^{\pm 0.013}$  mm).

Setelah perolan, foil disimpan dalam kondisi vakum dan isi dengan gas inert untuk meminimalkan kemungkinan terjadi oksidasi sebelum dilakukan persiapan untuk proses berikut (proses Quenching).

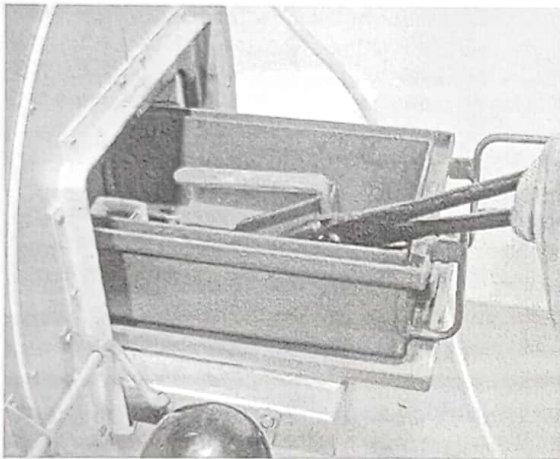
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposit Ingot uranium dilumuri dengan bubuk yttrium oksid, dikeringkan pada udara kemudian dimasukkan dalam frame dan ditutup cover atas dan bawah. Selanjutnya dilas pada ke empat sisinya. Kemudian dimasukkan dalam amplop *Stainless Steel* SS, lipat rapat-rapat dan lakukan aniling pada suhu 625°C selama 24 jam. Setelah itu didinginkan, amplop/bungkus SS dibuka, rakitan komposit kemudian dipanaskan pada temperatur 625°C selama 1 jam seperti terlihat pada Gambar 1.



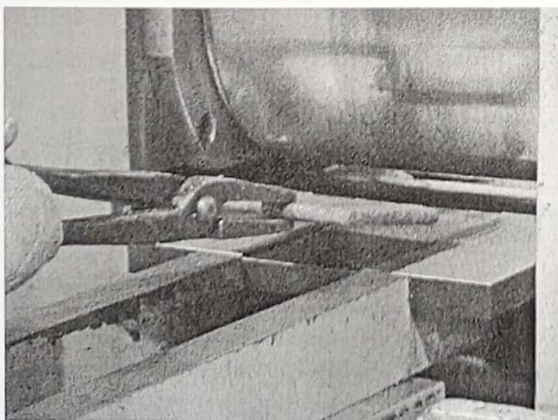
Gambar 1. Komposit hasil pelasan siap dirol panas

Pemberian atau pelapisan dengan yttrium oksid pada seluruh permukaan ingot logam uranium dimaksudkan supaya ingot tidak menempel atau lengket pada kelongsong setelah di rol panas, sehingga mudah dikelupas untuk melepaskan foil uranium. Selain itu pelapisan dengan yttrium oksid juga dimaksudkan untuk menjaga agar ingot logam uranium tidak mudah teroksidasi pada waktu dianiling. Demikian juga dengan pengelasan pada seluruh sisi dari komposit dan pembungkusan dengan amplop SS yang selanjutnya divakum juga dimaksudkan untuk menghindari terjadinya oksidasi pada ingot logam uranium. Pada proses aniling komposit logam uranium dilakukan dalam suasana gas argon atau dialiri gas argon, ini juga dimaksudkan untuk menghindari kontak dengan udara sehingga tidak terjadi oksidasi pada ingot logam uranium. Proses aniling ditunjukkan pada Gambar 2.



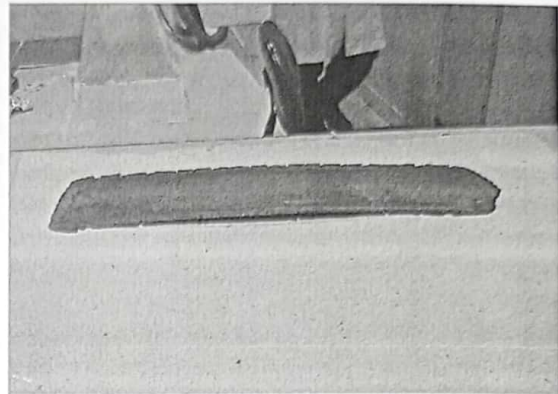
Gambar 2. Aniling komposit logam uranium

Komposit yang telah dianiling selanjutnya dilakukan rol panas sampai ketebalan komposit lebih kurang 1,8 mm (tebal foil uranium  $\pm 0.5 - 0.75$  mm). Proses perolan panas seperti terlihat pada gambar 3. Proses perolan dilakukan dengan cara sekali jalan setiap *pass* dengan reduksi tebal 5 % dari tebal semula, komposit dianil lagi, kemudian dirol dengan posisi komposit dibalik 180 oC dan ujung yang masuk rol tetap seperti pada saat pertama masuk mesin rol. Proses pengerolan yang demikian dimaksudkan agar diperoleh foil uranium yang bagus dan tidak retak atau pecah.



Gambar 3. Perolan panas komposit

Hasil perolan panas diperoleh komposit dengan ketebalan 1,6 mm, panjang komposit 385 mm, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Komposit hasil rol panas

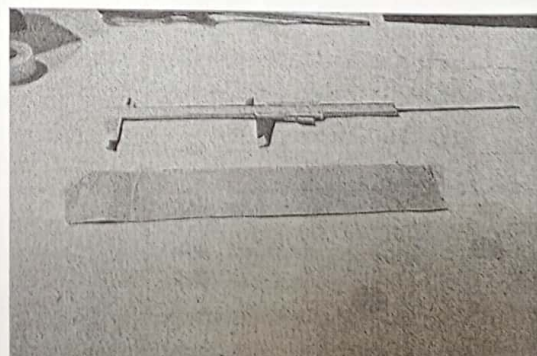
Setelah kelongsong karbon steel dibuka diperoleh foil uranium dengan ketebalan 0.5 mm, panjang 96 mm, dan lebar 90 mm. Data pengukuran tebal foil uranium hasil rol panas ditampilkan pada Tabel 1.

TABEL 1.  
DATA PENGUKURAN TEBAL FOIL URANIUM HASIL  
ROL PANAS (MM)

0.554	0.547	0.501
0.520	0.478	0.505
0.508	0.493	0.474

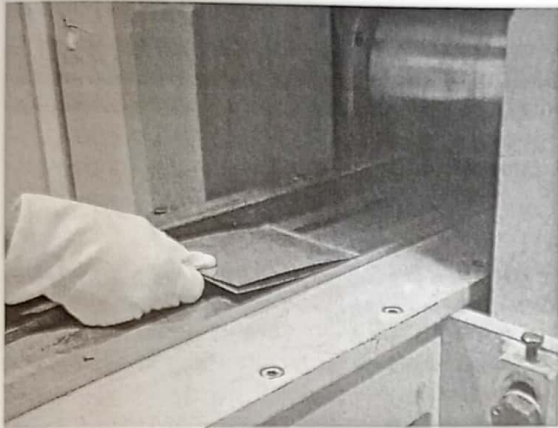
Tebal rata-rata = 0.509 mm

Foil uranium hasil rol panas yang dihasilkan terlihat bagus, tidak terdapat cacat bolong ataupun kotoran yang menempel pada permukaan foil. Pada kedua ujung dan sisi-sisinya tidak rata, sebelum diproses lebih lanjut sisi-sisi yang tidak rata tersebut digunting atau dibuat menjadi lurus, sehingga memudahkan pada waktu rol dingin. Foil uranium hasil rol panas setelah dikeluarkan dari kelongsong seperti terlihat pada Gambar 5.



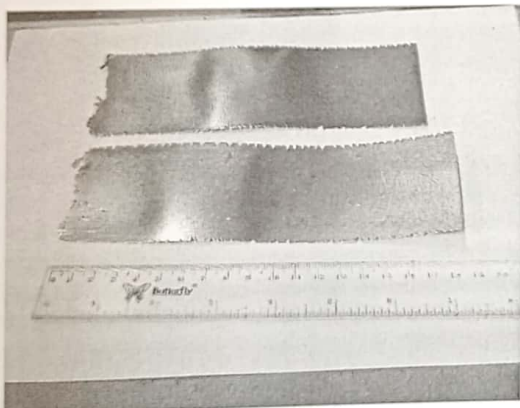
Gambar 5. Foil uranium hasil rol panas

Foil uranium yang dihasilkan ini sebelum dirol dingin dipotong menjadi dua bagian dengan panjang yang sama, masing-masing 48 mm. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari foil yang dihasilkan melengkung dan pecah-pecah pada sisi-sisi lebarnya karena foil yang dihasilkan terlalu panjang. Dimana pertambahan panjangnya setelah dirol dingin empat kali dari panjang awal. Foil uranium kemudian dibungkus dengan cover dari plat SS, selanjutnya di rol dingin sampai dicapai ketebalan foil uranium  $0.125 \pm 0.013$  mm, seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Proses perolan dingin foil uranium

Proses perolan dingin foil uranium dari tebal 0,5 mm menjadi 0,125 mm memerlukan ketelitian dan keterampilan, sebab jika tidak hati-hati foil yang dihasilkan melengkung atau sobek pada sisi lebarnya. Pengurangan tebal atau reduksi tebal sebesar 10 % setiap pass mesin rol menghasilkan hasil yang terbaik. Hasil perolan dingin foil uranium ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Foil uranium hasil perolan dingin

Dari pembuatan foil uranium dihasilkan 2 buah foil dengan panjang, lebar dan tebal sebagai berikut:

1. Foil Uranium No.1: tebal foil 0,124 mm, panjang 180 mm, lebar 53 mm, berat 19,7 g, foil ini dapat di- buat menjadi 2 buah foil target dengan ukuran masing 44 mm x 76 mm.
2. Foil Uranium No.2: tebal foil 0,125 mm, panjang 185 mm, lebar 53 mm, berat 22,1 g, foil ini dapat di- buat menjadi 2 buah foil target dengan ukuran masing 44 mm x 76 mm.

Foil uranium yang dihasilkan dirakit menjadi foil target, foil uranium dengan ukuran 44 mm x 76 mm dan tebal 0,125 mm dirakit didalam kelongsong dalam dan kelongsong luar, data tebal foil yang akan dirakit menjadi foil target ditampilkan pada tabel 2.

TABEL 2.

DATA PENGUKURAN TEBAL FOIL URANIUM PADA BERBAGAI POSISI (MM)

0.126		0.127		0.126
0.125	0.126	0.126	0.126	0.125
0.123		0.124		0.124

Tebal rata-rata = 0.125mm

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil kegiatan pembuatan foil uranium yang telah dilakukan deapat disimpulkan bahwa pembuatan foil uranium dengan cara perolan panas dan kemudian dilanjutkan dengan perolan dingin telah berhasil, dengan dihasilkannya foil uranium dengan ketebalan yang diinginkan yaitu ketebalan rata-rata sebesar 0,125 mm dan 0,124 mm. Panjang foil 180 mm dan 185 mm dengan tebal 53 mm, tidak robek dan bolong.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] ANL, *Instructions for Assembling 8 g or 16 g Ni foil Wrapped LEU Metal Foil Annular Targets*, Workshop Serpong Maret 2006.
- [2] E. L. WOOD, "*Thermal Testing of Uranium Metal Target For <sup>99</sup>Mo Production*", RERTR, 1994.