

## DESAIN DAN PEMBUATAN KOMPONEN KOPLING AS DAN PIPA KOMPOSIT *FIBER GLASS* PADA *GROUND PENETRATING RADAR TEST RANGE SCANNER*

Teguh P. Soetikno, Pranoto Sucahyono, Andaya Lestari  
Fakultas Desain dan Industri Kreatif Universitas Esa Unggul, Jakarta  
Jl. Arjuna Utara No. 9, Kebon Jeruk Jakarta Barat – 11510  
teguh@esaunggul.ac.id

### Abstrak

Untuk keperluan kalibrasi dan pengujian antenna *Ground Penetrating Radar/ GPR* telah dikembangkan sebuah *scanner* dengan ukuran lebar 3m, panjang 3m. Banyak komponen *scanner* secara khusus perlu di rancang dan di buat. Kopling as berbahan aluminium paduan dan pipa penyangga antenna *Glass Fiber Composite* dimana proses perancangan dan pembuatannya mulai dari konsep desain hingga pengujian dan pemakaian dilapangan di terangkan. Kesulitan dan masalah desain dan pembuatan berhasil di pecahkan hingga menghasilkan komponen dan alat *scanner* yang berfungsi dengan baik.

**Kata kunci :** *scanner, GPR, kopling, komposit, glass fiber, CAD, FEA*

### Pendahuluan

*Innovative Design Engineering / IDE* adalah konsultan desain engineering independen yang memberikan jasa desain hingga pembuatan peralatan khusus sesuai permintaan.

Awal tahun 2006 IDE telah menyelesaikan pembuatan sebuah alat *scanner* untuk pengujian *Ground Penetrating Radar*, radar untuk melihat keadaan dibawah tanah, atas permintaan IRCTR-IB / LTRGM-ITB, sebuah badan kerjasama internasional di bidang radar yang salah satu cabangnya di Institut Teknologi Bandung dan berpusat di Fakultas Teknik Elektro- Delft University of Technology, Belanda.

Bentuk *scanner* tidak lain adalah seperti meja portal (*gantry*) yang dapat bergerak di tiga sumbu X, Y, Z , dimana di sumbu Z (vertikal) dipasang antenna radar yang akan di uji (Gambar 1). Area kerja *scanner* adalah: 2m, 2m, 1m (X, Y, Z)

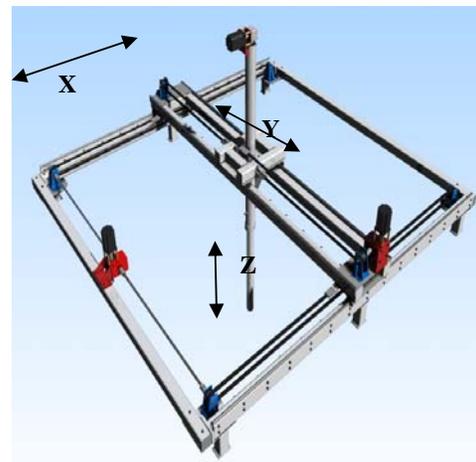
*Scanner* ini diletakkan setinggi 3m diatas sebuah kotak berisi pasir dan ditempatkan di sebuah fasilitas khusus yang terletak di area Gedung Radar, Institut Teknologi Bandung.

Persyaratan umum desain *scanner* dari segi area kerja, ketelitian dan berat antenna diberikan oleh IRCTR-IB, sedangkan untuk elektronika, mekanikal dan konstruksinya ditentukan oleh IDE untuk memenuhi syarat ketelitian  $\pm 1$  mm di semua sumbu pergerakan dan kekuatan menahan beban 30 kg diujung sumbu Z.

Dua jenis komponen harus di desain dan dibuat khusus karena pengadaannya memakan waktu terlalu lama dan berbiaya tinggi. Komponen

tersebut adalah kopling as untuk pergerakan di sumbu X Y dan pipa non-logam pemegang antenna di sumbu Z (Gambar 2, tanda panah).

Proses umum desain *scanner* dan pengembangan kedua komponen tersebut dibahas pada tulisan ini.



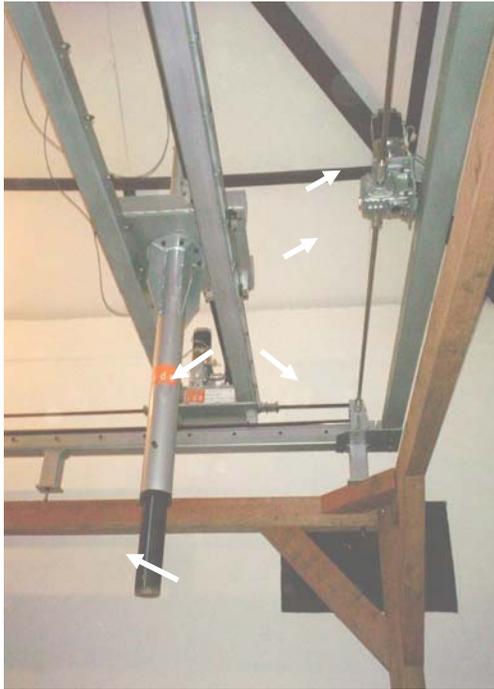
Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 1**  
Scanner, final 3D CAD

### Desain Scanner 3x3 meter

Persyaratan atas struktur dan konstruksi *scanner* adalah kekuatan dan kekakuan nya akan menahan beban operasional baik pada saat fabrikasi, transportasi, instalasi dan pemakaian sehari hari. Beban terbesar struktur *scanner* adalah saat instalasi dan perawatan dimana dua orang harus dapat berdiri diatas *scanner* tanpa membuat

rel pergerakan meja menjadi berubah bentuk permanen, hingga membuat macet pergerakan sumbu-sumbu X dan Y.



Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 2**  
Scanner di lokasi

Persyaratan penting lainnya yang ditentukan penulis adalah:

- Bahan dan bentuk bahan yang mudah didapat di pasar. Ini juga berlaku untuk komponen elektronik dan pendukung lainnya.
- Proses pembuatan dan perakitan/ instalasi, semudah mungkin dengan menggunakan fasilitas yang dimiliki.
- Sub-kontrakan pekerjaan yang peralatannya tidak dimiliki sendiri.
- biaya dan waktu yang seminimal mungkin.

Selain persyaratan diatas, beberapa filosofi desain yang penting telah diterapkan pada saat mulai membuat konsep dan *lay-out* dari scanner antara lain,

- *Design for "X"*, dimana "X" adalah:
  - *cost* (biaya, )
  - *simplicity* (sederhana),
  - *minimum quantity* (jenis & jumlah part sedikit)
  - *manufacturing* (proses pembuatan)
  - *assembly* (perakitan)
  - *maintainability & reliability*
- *Concurrent Design* :
  - proses detail desain dan engineering berjalan bersamaan dengan pembuatan komponen.

- detail design di-*freeze* setelah komponen yang harus dibeli disurvei ukuran aktualnya.

Persyaratan di atas telah membuahkan desain struktur berbasis *frame* baja pipa persegi dan *flat bar*, pelat baja, as *stainless steel* dengan penyambungan baut-mur dan pengelasan.

Filosofi *Design for "X"* banyak menghasilkan desain komponen :

- Modular
- Simetri/ anti-simetri
- *Common part*, part seragam
- Part dengan ukuran stok material sama, jumlah part minimal.
- Proses pembuatan mudah & cepat
- Kualitas part cenderung baik dan seragam, kesalahan operator minimum

Sistem utama pergerakan sumbu XY menggunakan *belt* bergigi dengan *pulley*.

Sedangkan untuk sumbu Z digunakan sistim ulir-aktuator dengan *stroke* 1,2m.

Berat keseluruhan struktur berikut motor dan *gear-box* sekitar 400 kg. dimana 150 kg lebih adalah bagian *scanner* yang bergerak (*frame* sumbu Y dan Z).

Komponen kopling as digunakan untuk transmisi tenaga/pergerakan dari motor ke *pulley belt* melalui *gear box* (Gambar 2).

Komponen pipa non-logam digunakan sebagai aktuator sekaligus tempat memasang antenna yang akan diuji (Gambar 2).

## Pembahasan Kopling

Kopling as berfungsi untuk memindahkan gaya/ gerakan berputar dari as *gear box* ke *pulley* dan *belt* yang di baut ke *frame* (Gambar 2 & 3)

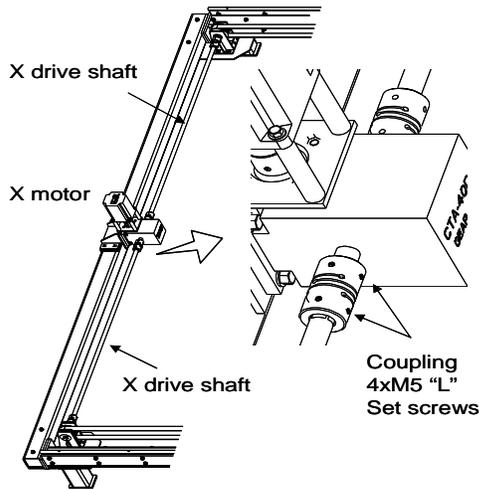
Seperti pada *scanner* secara umum, pada komponen kopling juga berlaku persyaratan umum dan persyaratan khusus.

Persyaratan khusus kopling adalah :

- Dapat mengakomodasi *misalignment* dari as *gear box* ke as pemutar *pulley*.
- Cukup kuat dan fleksibel untuk tidak mengalami retak dan patah akibat beban / deformasi berulang (*fatigue* / kelelahan) akibat beban puntir dan tekuk pada saat perakitan dan pemakaian.
- Tidak mempunyai *backlash* atau *spelling* bila arah putar as berbalik.

Kopling ini sebenarnya sudah ada yang standar dan dapat dibeli (Gambar 4). Sayangnya harga dan

waktu import part tidak sesuai jadwal dan budget, hingga harus didesain dan dibuat sendiri.

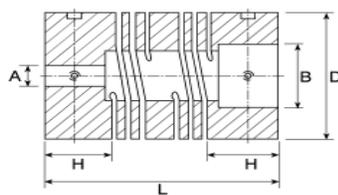


Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 3**

Kopling gear box dan as pulley.

Bahan aluminium paduan dipilih karena ketahanan *fatigue* nya lebih tinggi dibanding baja. Dan karena alasan yang sama, kopling standar pun berbahan aluminium (Gambar 4).



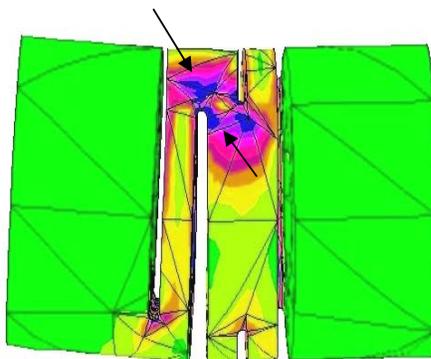
Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 4**

Flexible Coupling standar



Iterasi analisa *FEA*, max stress ~ 350Mpa (tanda panah)



Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 5**

Kalau penulis meniru desain seperti diatas, akan sangat sulit proses pembuatannya dengan menggunakan peralatan yang ada.

Dengan mengetahui cara bekerja kopling jenis ini dibuat konsep awal yang mirip kopling standar tapi lebih mudah dibuat, dan tegangan yang terjadi disimulasikan dengan metoda *Finite Element Analysis/ FEA*. Cara bekerja kopling dan proses *FEA* berada diluar cakupan makalah.

Acuan yang digunakan untuk mengetahui apakah desain kopling memuaskan atau tidak adalah tegangan yang terjadi dimana dibagian kritis tidak boleh melebihi *Yield Stress* aluminium paduan dan nilai tegangan disekitar daerah kritis harus dibawah *Fatigue Strength* bahan yang sama.

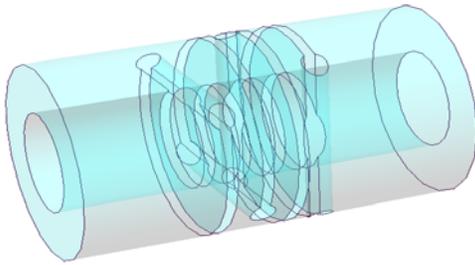
Model 3D CAD kopling dari konsep awal dibebani deformasi tekuk dan beban puntir searah sumbu kopling.

Ini mensimulasikan beban riil di lapangan dimana akan sangat sulit membuat sumbu *gear box* sepenuhnya berada dalam satu garis dengan sumbu *pulley* dan kemungkinan kopling terkena beban saat instalasi.

Hasil simulasi desain awal menunjukkan tegangan yang masih terlalu tinggi. Konsentrasi tegangan berada didaerah yang telah diperkirakan (Gambar 5).

Dengan mengacu hasil awal, dilakukan beberapa perubahan desain hingga iterasi final menghasilkan desain di Gambar 6.

Pertimbangan lain yaitu bahan yang dibeli jenis panduannya hanya dapat diperkirakan dari kualitas permukaan setelah di bubut. Hal ini membuat penulis menambah faktor keamanan desain kopling menjadi sekitar 1.25 kali.

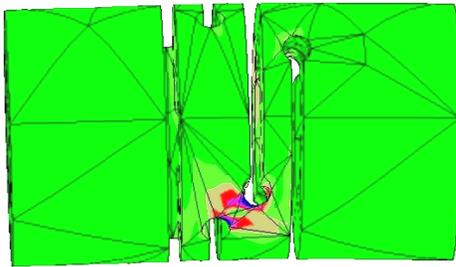


Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 6**

Desain final Kopling, OD 30mm L 65mm

Desain ini di simulasikan kembali dan menghasilkan tegangan yang diinginkan (Gambar 7).



Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 7**

Hasil simulasi FEA desain final kopling

Part kopling kemudian di desain detail dan di buat, hasilnya terlihat di Gambar 8 & 9.



Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 8**

Stok bahan kopling (panah) sebelum proses selanjutnya



Sumber: Hasil Olahan Data

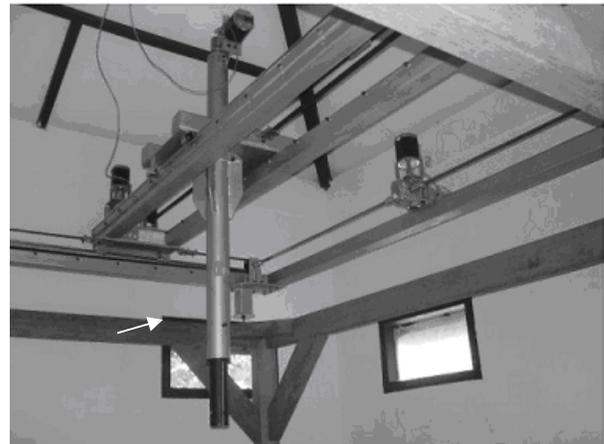
**Gambar 9**

Kopling siap digunakan

Kopling berhasil di rakit ke scanner dan pembebanan operasional termasuk saat instalasi dapat diatasi dengan baik.

### Pipa komposit *Glass Fiber*

Pada awal proses desain, pipa penyangga antenna sekaligus aktuator ini ditargetkan menggunakan bahan plastik PVC (poly vinyl chloride), Gambar 10. Oleh pengguna, bahan non-logam memang dipersyaratkan untuk berfungsinya scanner.



Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 10**

Pipa FRP (panah)

Beban utama dari pipa ini adalah beban tarik dan beban tekuk / *bending*. Beban tarik timbul untuk menahan gaya berat antenna yang dapat mencapai 30kg.

Gaya *bending* timbul saat pemasangan antenna diujung pipa dan utamanya saat antenna

berakselerasi, dari keadaan diam lalu bergerak, kemudian berhenti dan seterusnya.

Pada saat *stroke* maksimum, ujung pipa berada 1m dari ujung pipa besi dan kurang lebih antenna beraksi seperti bandul. Kekakuan puntir dan *bending* dari pipa adalah kriteria desain utama supaya antenna tidak mengayun atau bergetar.

Menggunakan PVC dengan persyaratan diatas mengharuskan desain pipa PVC dengan diameter 75mm dan ketebalan dinding 20mm. Dengan kata lain, pipa standar dengan *schedule* 80 pun belum cukup kaku.

Solusinya adalah menggunakan stok PVC bulat pejal dan bagian tengahnya dilubangi sepanjang 1.2m.

Disini letak permasalahannya, fasilitas fabrikasi di sekitar Jakarta tidak ada yang sanggup mengerjakan proses pelubangan sepanjang 1.2m. Sebuah pabrik di Jawa Barat dapat membuat pipa ini tetapi biayanya sangat tinggi, diluar dana yang tersedia.

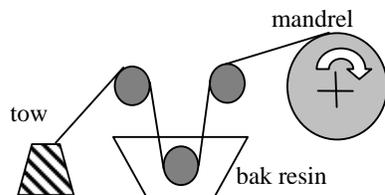
IDE sudah cukup berpengalaman mendesain dan membuat prototype dan produk dari *fiberglass* komposit, penulis memutuskan membuat pipa dari bahan tersebut, dengan cara pembuatan khusus yang belum pernah dicoba yaitu dengan cara mengadopsi proses *filament winding* dan *hand lay-up*.

Keputusan ini diambil setelah melakukan analisa kelayakan, terutama kelayakan produksi dan merupakan yang terbaik dari semua alternatif.

Secara kekuatan dan kekakuan, pipa komposit ini sangat kuat dan kaku dengan dimensi yang dibutuhkan. Perhitungan detail tidak diperlukan.

Proses *filament winding* didunia komposit digunakan untuk membuat pipa, tangki dan tabung berbahan *Fiber Reinforced Plastic / FRP*.

Di proses ini jalinan tali *fiber (tow)* atau filamen yang dibasahi dengan *resin* di lilitkan secara berulang seperti menggulung benang ke sebuah cetakan / *mandrel* yang berputar pada sumbunya. Setelah *resin* mengering, produk dilepas dari cetakan (Gambar 11).

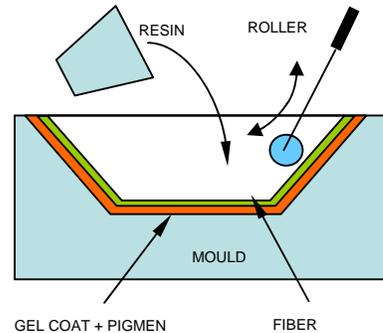


Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 11**

Proses *filament winding*

Proses *hand lay-up* adalah proses paling sederhana untuk membuat produk komposit *fiber glass*. Disini diperlukan sebuah cetakan dimana beberapa lembaran *fiber glass* yang diletakkan dalam cetakan di basahi dengan *resin* dengan cara menggunakan kuas dan *roller*. Setelah mengering, produk dilepas dari cetakan (Gambar 12).



Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 12**

Proses *hand layup*

Tidak seperti *filament winding*, untuk pipa *FRP scanner* digunakan lembaran *fiber glass* berbentuk *woven roving fabric* (seperti lembaran kain). Mandrel dibuat dari bahan pipa PVC standar yang direkatkan ke sumbu pipa besi yang diujungnya diberi tuas pemutar (Gambar 13).



Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 13**

Peralatan pipa *FRP*

Proses berikutnya adalah *hand lay-up* pada *mandrel* seperti terlihat di Gambar 14.



Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 14**

Proses pembuatan pipa FRP

Pembuatan pipa dilakukan dalam dua tahap pelapisan. Lapisan pertama setebal 8mm, yang setelah mengering selama 8 jam, dilanjutkan dengan lapisan setebal 8mm berikutnya hingga pipa mencapai ketebalan 16mm.

Kekurangan dari proses *hand lay-up* adalah hanya satu sisi produk memiliki permukaan halus. Untuk itu pipa FRP menjalani proses pengerjaan pembubutan (Gambar 15).

Proses berikutnya adalah melapisi pipa yang telah dibubut dengan *resin gel-coat* yang halus dan cukup keras bila sudah mengering. Ini diperlukan karena pipa FRP setelah dibubut kehalusannya belum memenuhi syarat. Aplikasi *gel coat* dilakukan sambil menjalankan mesin bubut (Gambar 16)



Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 15**

Pembubutan pipa FRP



Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 16**

Aplikasi *gel-coat* pada pipa FRP

Setelah lapisan *gel-coat* mengering, kembali pipa dibubut untuk mencapai dimensi dan kehalusan yang dibutuhkan.

Proses final adalah pembuatan dua jalur sepanjang pipa sebagai penahan pipa supaya tidak ikut berputar bersama ulir aktuator.

Pipa FRP ini berhasil dibuat dengan persiapan sangat matang dan dengan mengantisipasi semua masalah produksi yang akan timbul. Desain *mandrel* dan sumbu besi telah mengantisipasi proses berikutnya yaitu pembubutan, aplikasi dan penghalusan *gel-coat*.

Hasil pipa FRP sesuai harapan, sangat kuat dan kaku dengan kelurusan yang sangat baik (Gambar 17).



Sumber: Hasil Olahan Data

**Gambar 17**  
Hasil pipa FRP

Ground Penetrating Radar Napoli, Italy  
2007.

Bralla, James G., “*Design for Excellence*”,  
McGraw-Hill, 1996.

Katalog komponen standar

[www.matweb.com](http://www.matweb.com)

## **Kesimpulan**

Proses desain, pembuatan komponen yang terencana dengan baik dan pemecahan masalah secara sistematis terbukti dapat menghasilkan produk dengan tingkat kegagalan komponen sangat rendah yang pengembangannya tepat waktu, sesuai dengan dana yang tersedia dan berfungsi penuh. Kreativitas dan tidak takut berinovasi menjadi persyaratan penting untuk dapat menghasilkan produk khusus.

## **Daftar Pusaka**

- A. Lestari, et.al, “*GPR Antenna Test Facility at IRCTR-IB*” akan di bawakan pada 4th International Workshop on Advanced