

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI SUMBER TEGANGAN TINGGI PADA MBE 300 keV/20 mA

Taufik, Djasiman, Saminto, Sumaryadi

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan BATAN

ABSTRAK

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALI SUMBER TEGANGAN TINGGI PADA MBE 300 keV/20 mA. Dalam rancang bangun MBE diperlukan sistem pengendali STT (Sumber Tegangan Tinggi) yang merupakan salah satu komponen pendukung yang berfungsi untuk mengatur dan menstabilkan STT. Tahapan kegiatan yang dilakukan meliputi pengkajian tipe STT yang digunakan, pengkajian prosedur pengoperasian STT dan perancangan sistem pengendali. Dari perancangan diperoleh sistem kendali STT dibuat dalam dua pilihan otomatis dan manual. Kendali otomatis dirancang memiliki toleransi sebesar $\pm 2\%$ dari tegangan yang diset.

ABSTRACT

DESIGNING OF HIGH VOLTAGE CONTROL SYSTEM OF 300 keV/20 mA ELECTRON BEAM MACHINE. In designing and construction of EBM (Electron Beam Machine), it is needed a high voltage control system that is one of supporting component to arrange and to stabilize high voltage. The Activity steps to be done consist of learning the type of high voltage, operation procedure and designing of control system. From the designing, it was found that the high voltage control system have been designed with two optional control system such as manual and automatic. The automatic control is designed to have 2% of tolerance from the setting voltage.

PENDAHULUAN

Mesin Berkas Elektron (MBE) telah banyak dimanfaatkan di berbagai bidang, diantaranya adalah bidang industri, bidang pengobatan, bidang lingkungan dan bidang-bidang lainnya. Dalam bidang industri salah satu aplikasinya adalah untuk vulkanisasi karet alam. Teknik vulkanisasi menggunakan MBE lebih ramah lingkungan dan menghasilkan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan teknik vulkanisasi konvensional secara kimia.^[1]

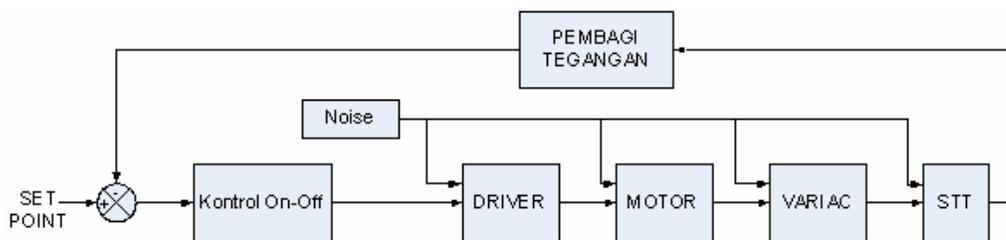
Dalam rangka menunjang program BATAN khususnya tentang rancang bangun mesin berkas elektron berbasis industri yaitu MBE 300 keV/20mA untuk industri lateks, telah dilakukan kegiatan rancang bangun Sumber Tegangan Tinggi (STT) 300 kV/50 mA. STT merupakan salah satu komponen utama dalam MBE yang berfungsi untuk

meningkatkan energi berkas elektron. Untuk mengoperasikan STT pada mesin MBE diperlukan sistem pengendali untuk mengatur dan mengendalikan tegangan yang dibebankan pada tabung pemercepat. Oleh karena itu dalam kegiatan penelitian ini dilakukan perancangan sistem pengendali STT.

Lingkup kegiatan rancang bangun sistem pengendali sumber tegangan tinggi ini meliputi pengkajian tipe STT yang digunakan, pengkajian prosedur pengoperasian STT dan perancangan sistem pengendali.

TATA KERJA

Tata kerja dari sistem pengendali sumber tegangan tinggi dapat digambarkan dalam bentuk diagram blok seperti pada Gambar 1.



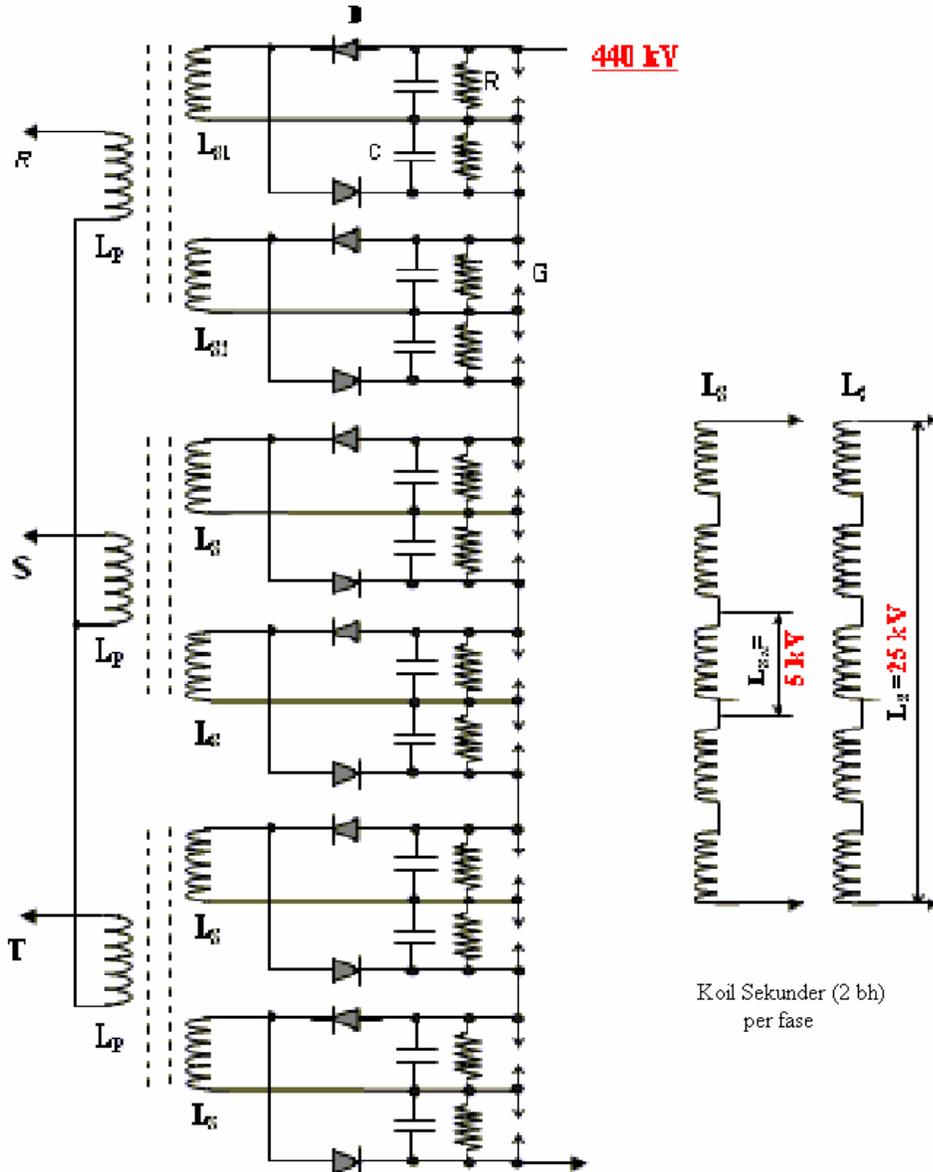
Gambar 1. Diagram blok sistem pengendali STT.

Sumber Tegangan Tinggi

Penggunaan MBE dalam vulkanisasi lateks tidak memerlukan energi yang sangat tinggi, akan tetapi memerlukan arus berkas yang besar. Program rancang bangun MBE untuk industri lateks ini direncanakan memiliki kapasitas 300 kV/20 mA atau 6 kW, daya tersebut seluruhnya akan menjadi beban utama bagi STT disamping bentuk beban-beban lain yang harus disangganya seperti daya untuk sumber elektron dan rugi-rugi daya lainnya. Disamping beban yang harus disangga tersebut,

dalam perancangan juga harus mempertimbangkan perlunya keandalan unjuk kerja dan stabilitas serta faktor-faktor lain sesuai yang dikehendaki. Untuk memenuhi kapasitas MBE tersebut telah ditentukan sebagai sumber tegangan pemercepatnya adalah STT jenis transformator inti terbumikan (*grounded core transformer type* atau GCT).^[2]

Dalam STT tipe GCT kumparan primer dan sekunder terisolasi langsung terhadap tegangan tinggi DC. Diagram prinsip STT yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. STT tipe GCT 3-phase.

Spesifikasi teknis STT sebagai berikut:^[3]

- Kapasitas daya STT: 350 kV/50 mA.
- Sumber daya masukan: 3 fase; 28,5 kVA; 380 V; 50 Hz.
- Tegangan/arus primer trafo per fase: 220 V/43 A.
- Tegangan/arus sekunder trafo per fase: 2 x 25 kV/100 mA.
- Jumlah tingkat pengganda tegangan: 6 tingkat.
- Komponen pengganda tegangan: penyearah: 50 kV/1 A; kapastor: 0,22 μ F/50 kV.
- Faktor riak tegangan pada kondisi beban penuh: 1 %.

Sistem Kendali Otomatis

Sistem pengendali STT dirancang dalam dua pilihan, yaitu dengan kendali otomatis dan kendali manual. Sistem kendali manual digunakan apabila sistem otomatis tidak dapat digunakan. Sistem kendali otomatis dirancang menggunakan sistem kendali on-off. Dalam sistem kendali otomatis tegangan tinggi yang dihasilkan dari sumber tegangan tinggi dicuplik menggunakan pembagi tegangan. Tegangan cuplikan yang dihasilkan digunakan sebagai *feedback* dibandingkan dengan tegangan set point sehingga diperoleh beda tegangan antara set point dengan *feedback*. Beda tegangan yang dihasilkan digunakan untuk mengoreksi tegangan keluaran yang dihasilkan dari STT agar sesuai dengan tegangan yang diharapkan.

Dalam membuat suatu sistem pengendali, perlu diperhatikan sistem keselamatan alat maupun keselamatan pekerja. Untuk itu diperlukan sistem

interlock yang akan menghentikan STT saat kondisi yang dapat merusak alat dan membahayakan personil. Sistem *interlock* ini dapat bekerja pada kedua pilihan sistem kendali tersebut. Beberapa kondisi yang di *interlock* ditunjukkan pada Tabel 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bedasarkan diagram blok dari sistem pengendali STT pada Gambar 1 dapat dirancang skematik rangkaian pengendali STT pada Gambar 3. Dari skematik rangkaian tersebut dapat dibuat rancangan detail dari masing-masing fungsi dan rangkaian interlocknya.

Pengukur Tegangan STT

Tegangan keluaran dari STT terlalu besar untuk digunakan sebagai *feedback* sehingga perlu diperlemah dengan menggunakan rangkaian pembagi tegangan. Skematik rangkaian pengukur tegangan disajikan pada Gambar 4. Tegangan maksimal yang dapat diukur ditentukan sebesar -400 kV, sehingga agar dapat diukur menggunakan ampermeter dengan skala penuh 50 μ A maka tahanan ukur (R_u) yang dibutuhkan sebesar 8000 M Ω . Nilai tahanan dalam amper meter 50 μ A berkisar (3 s/d 4) k Ω , sehingga beda tegangan antara terminal ampermeter (V_o) maksimal adalah (-0,15 s/d -0,2) Volt. Beda tegangan ini dapat digunakan sebagai *feedback* setelah melalui rangkaian inverting dan rangkaian penguat sehingga pada tegangan maksimal -400 kV, tegangan *feedback* menunjukkan 6 V. Pelucut tegangan digunakan sebagai pengaman dari tegangan tinggi. Sedangkan R_p digunakan sebagai pengaman ampermeter.

Tabel 1. Kondisi Interlock.

No.	Kondisi	Aksi	Tujuan
1	Posisi awal variak tidak dalam keadaan nol	STT masih mati, posisi variak di-nol-kan	Untuk menghindari STT mendapatkan masukan yang besar secara tiba-tiba.
2	Tegangan keluaran melebihi batas yang dibolehkan.	STT akan mati secara perlahan.	Untuk menghindari tegangan berlebih yang dapat merusak komponen.
3	Posisi variak dalam keadaan maksimum.	STT akan mati secara perlahan.	Untuk menghindari kerusakan mekanik dari variak.
4	Terjadi kelebihan beban	STT akan mati secara perlahan.	Untuk menghindari kerusakan komponen MBE.
5	Panas berlebih	STT akan mati secara perlahan.	Untuk menghindari kerusakan komponen STT.

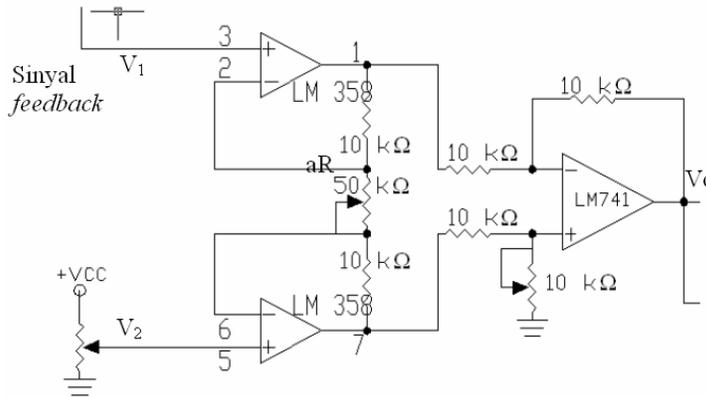
Penguat Instrumentasi.

Penguat instrumentasi dalam sistem pengendali ini digunakan untuk untuk menghasilkan sinyal koreksi.^[4] Sinyal koreksi merupakan selisih dari sinyal *feedback* dengan sinyal *set point* yang digunakan sebagai sinyal masukan rangkaian kontrol. Pada skematik rangkaian instrumentasi pada Gambar 5 penguatan diatur dengan mengatur potensio aR menjadi 20 kΩ sehingga penguatannya adalah :

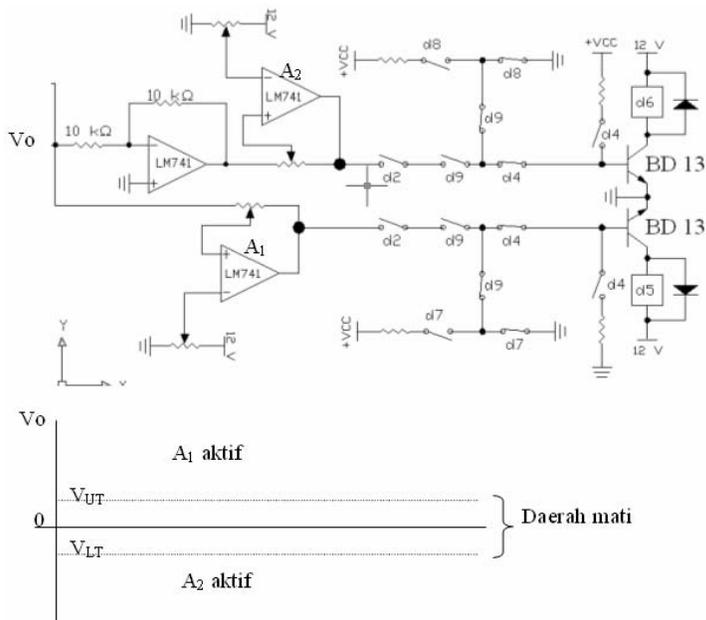
$$\frac{V_o}{(V_2 - V_1)} = A = 1 + \left(\frac{2}{a}\right) = 1 + \frac{2}{2} = 2$$

Pengendali motor Otomatis

Sistem kontrol yang digunakan dalam sistem kendali STT ini adalah menggunakan sistem On-Off. Sistem kontrol ini berupa suatu rangkaian pembanding dengan histerisis yang akan menghasilkan sinyal untuk menggerakkan motor kekiri ataupun kekanan sesuai dengan sinyal koreksi yang diberikan. Gambar skematik dan respon sinyal rangkaian kontrolnya disajikan pada Gambar 6.



Gambar 5. Penguat Instrumentasi.



Gambar 6. Skematik dan respon sinyal rangkaian kontrol.

Pada rangkaian kontrol keluaran dari op-amp A₁ akan memutar motor untuk menaikkan tegangan variak dengan mengaktifkan relai d5. Begitupun sebaliknya op-amp A₂ akan memutar motor untuk menurunkan tegangan variak dengan mengaktifkan relai d6. Apabila sinyal masukan V_o di bawah V_{UT} dan diatas V_{LT}, maka op-amp A₁ dan A₂ tidak aktif atau sinyal keluarannya nol dalam hal ini motor tidak akan bergerak. Sedangkan apabila V_o lebih besar dari V_{UT}, A₁ aktif dan bila V_o lebih kecil dari V_{LT}, A₂ aktif.

Motor

Seperti pada Gambar 2 pengatur daya STT dilakukan dengan mengatur masukannya dengan menggunakan variak. Pengaturan variak ini dilakukan dengan mengkopel tuas variak dengan motor wipper 12 V menggunakan roda gigi sehingga posisi tuas variak dapat diatur secara elektronik dari rangkaian pengendali.

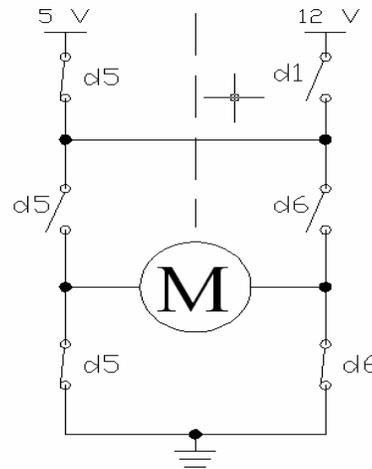
Perbandingan roda gigi yang digunakan = 1 : 8.

Kecepatan motor yang digunakan = 60 rpm

Kecepatan perpindahan tuas variak = 60 rpm × 1/8 = 7,5 rpm.

Kecepatan motor berpengaruh pada respon perubahan tegangan keluaran. Jika dalam kendali otomatis respon tegangan STT lebih lambat dari putaran motor maka motor akan bergerak naik turun terus menerus. Sedangkan dalam kendali manual akan mengakibatkan pengaturan tegangan kurang presisi. Kecepatan motor 7,5 rpm masih dirasa cepat dalam pengoperasian akan tetapi sudah cukup apabila terjadi trip yang harus memutar motor lebih cepat. Oleh karena itu motor disupply dengan

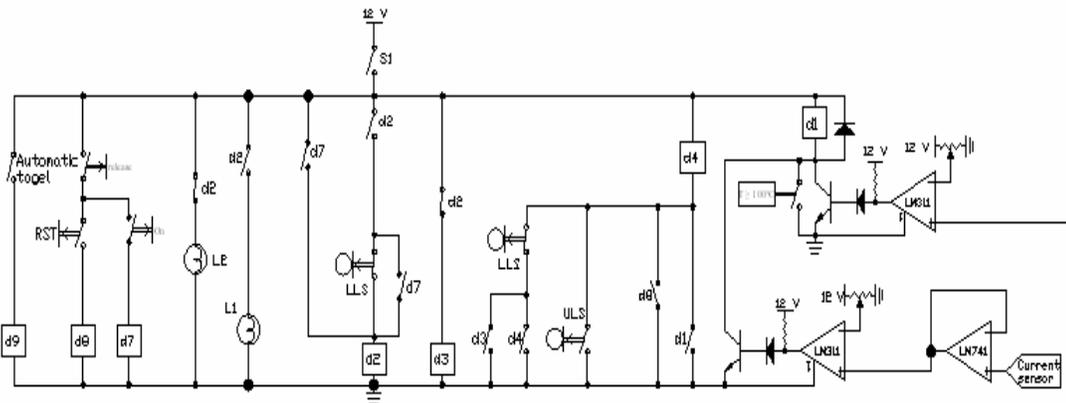
menggunakan dua tegangan yang digunakan secara bergantian seperti pada Gambar 7. Pada saat operasi normal tegangan yang digunakan adalah 5 V dan saat terjadi trip tegangan 12 V yang digunakan.



Gambar 7. Driver Motor.

Rangkaian Interlock

Rangkaian interlock dirancang untuk memenuhi persyaratan pengoperasian STT yang memenuhi kriteria seperti pada Tabel 1. Dalam rancangan interlock ini parameter-parameter interlock pengoperasian MBE belum di ikut sertakan, akan tetapi parameter-parameter tersebut dapat ditambahkan tanpa merubah rangkaian interlock STT. Adapun skematik rangkaian STT disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Skematik rangkaian interlock.

Pada Gambar 8 togel otomatis digunakan untuk memilih apakah pengoperasian STT dilakukan dengan manual atau otomatis. Tombol operasi yang digunakan terdiri dari 3 buah tombol, yaitu tombol release, tombol on/naik dan tombol reset/turun. Tombol release dirangkai seri dengan tombol lainnya yang berfungsi untuk pengaman agar tombol on dan tombol reset tidak aktif apabila penekanan tidak disengaja. Dua tombol lainnya mempunyai fungsi ganda, yaitu apabila togel diset otomatis maka aksi yang berfungsi adalah "on" dan "reset". Begitu pula sebaliknya jika togel diset manual maka aksi yang berfungsi adalah "naik" dan "turun".

KESIMPULAN

Dari hasil kegiatan Perancangan sistem pengendali sumber tegangan tinggi MBE 300 keV/20 mA dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Sistem kendali STT dibuat dalam dua pilihan, yaitu secara manual maupun otomatis.
- Sistem kendali otomatis dengan histerisis sebesar 4 % dapat bekerja dengan toleransi kestabilan ± 2 % dari tegangan set point.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan telah diperoleh hasil perancangan sistem pengendali STT MBE 300 keV/20 mA ini, penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya kepada rekan-rekan Staf di kelompok Teknologi Rancangbangun Akselerator : Bapak Heri Sudarmanto, Untung Margono dan Suhartono, A.Md. serta pihak pihak yang telah menyumbangkan tenaga dan pikirannya pada kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] MAKUUCHI, K., *Electron Beam Processing of Rubbers*, Proceedings of the Workshops on the Utilization of Electron Beam, JAERI, T.R.I. Global C., Ltd., 2003.
- [2] M. KASHIWAGI, Nissin High Voltage Co. Ltd. Kyoto, Japan.
- [3] DJASIMAN dkk, *Perancangan Sumber Tegangan Tinggi Untuk MBE 300 keV/20 mA Untuk Industri Lateks*, Laporan teknik P3TM, Yogyakarta, 2005.
- [4] ROBERT F. COUGHLIN, FREDERICK F.DRISCOLL, *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier*, ERLANGGA, Jakarta, 1983.

TANYA JAWAB

Budi Santosa

- Berapa besar lebar differensial gap dari kendali on off?
- Berapa kesalahan keadaan tunak (steady state) dari sistem kendali yang dirancang?

Taufik

- Besar lebar differensial gap dari rancangan yang dibuat disesuaikan dengan sinyal eror yang dihasilkan rangkaian penguat instrumentasi karena STT mempunyai riak 1% maka untuk amannya lebar differensial gapnya ditentukan 4% dari tegangan STT?
- Kesalahan steady state belum dikaji secara mendalam. Namun dengan rancangan STT dengan riak 1% maka ditentukan kesalahan steady state keseluruhan adalah 2% dari tegangan STT yang dihasilkan.

Rill Isaris

- Dalam rancangan belum dikemukakan berapa rating STT yang direncanakan. Bagaimana komponen feed back system pada rangkaian STT berfungsi untuk menstabilkan outputnya?
- Apakah disain ini sudah memperhatikan SPEC Requirement kebutuhan MBE dimaksud, dan menggunakan teknologi komponen state of the art?

Taufik

- Rating STT direncanakan 300 kV. Tegangan tinggi dari STT diperkecil sesuai dengan tegangan komponen IC. Tegangan feed back dibandingkan dengan set point yang dilakukan, pada rangkaian penguat instrumentasi, keluaran dari penguat instrumentasi ini digunakan untuk memperkecil kesalahan dengan menggerakkan motor yang dikopel dengan variak agar tegangannya sesuai dengan tegangan set point.
- Desain sudah disesuaikan dengan spesifikasi requirement kebutuhan MBE lateks. Teknologi komponen yang digunakan disesuaikan dengan ketersediaan dipasar dan harganya. Jadi dalam hal ini komponen yang digunakan masih dikatakan baru.