

Penerapan Metode Tracking Supply Pada Audio Power Amplifier Kelas A Guna Meningkatkan Efisiensi Daya

Yohanes Gunawan Yusuf¹, Veronica Indrawati² & Ong David Kristiawan³

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya

Raya Kalirungkut, Surabaya 60293, Indonesia

e-mail: yohanesgunawan@staff.ubaya.ac.id¹, veronica@staff.ubaya.ac.id², o.david.k@gmail.com³

Abstract— This research used a Tracking Power Supply (TPS) circuit designed and implemented on an Audio Power Amplifier class A aimed at increasing power efficiency with a small effect on the Total Harmonic Distortion (THD) of the amplifier. The TPS method is a method that combines the High-Speed Voltage Buffer method which can respond to fast voltage changes with the Switching Supply method which can supply power with relatively higher efficiency. By using TPS method, majority of the current required by the Audio Power Amplifier will be controlled and supplied by the TPS circuit which is expected to increase the efficiency of the Audio Power Amplifier (APA). The Switching part of the TPS is controlled using a Hysteresis Comparator, which works based on the amount of current flowing into the circuit. By using the TPS method, the power efficiency of the APA has been improved. The results increase the efficiency of APA by 17%, from 34% to 51%. The realization of the circuit in the PCB obtained in this study using this method can supply a class A push-pull power amplifier of 20 W to a load of 8 Ω with a THD of 0.0027% at an audio working frequency of 1 kHz.

Keywords : efficiency, pushpull, THD, amplifier, APA, tracking, switching, linear, hysteresis, power supply

Intisari— Penelitian ini menggunakan rangkaian Tracking Power Supply (TPS) yang dirancang dan diimplementasikan pada Audio Power Amplifier (APA) kelas A bertujuan untuk meningkatkan efisiensi daya dengan pengaruh yang kecil pada THD amplifier tersebut. Metode TPS adalah sebuah metode yang menggabungkan metode High Speed Voltage Buffer yang mampu merespons perubahan tegangan yang cepat dengan metode Switching Supply yang mampu mensuplai daya dengan efisiensi yang relatif lebih tinggi. Dengan menggunakan metode TPS ini, mayoritas arus yang dibutuhkan oleh APA akan dikontrol dan disuplai oleh rangkaian TPS sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dari APA. Bagian Switching dari TPS dikontrol menggunakan Histerisis Comparator, yang bekerja berdasarkan besarnya arus yang dialirkan ke dalam rangkaian. Dengan menggunakan metode TPS ini, efisiensi daya dari APA berhasil ditingkatkan. Dari hasil penelitian meningkatkan efisiensi APA sebesar 17%, yaitu dari 34% menjadi 51%. Hasil realisasi rangkaian dalam PCB yang didapatkan pada penelitian menggunakan metode ini mampu mensuplai daya power amplifier pushpull kelas A sebesar 20 W ke beban 8 Ω dengan THD 0,0027% pada frekuensi kerja audio 1 kHz.

Kata kunci: efisiensi, pushpull, THD, amplifier, APA, tracking, switching, linier, hysteresis, power supply

I. PENDAHULUAN

Audio Power Amplifier (Audio PA, APA) adalah perangkat aktif tahap akhir dalam rangkaian proses reproduksi sinyal suara. Dalam proses reproduksi suara ini, pada tahapan akhir, yaitu penguat daya (Power Amplifier / PA) menggunakan daya relatif besar dibandingkan dengan perangkat aktif lainnya ditahapan sebelumnya, seperti pre-amplifier, tone control atau mixer. Faktor efisiensi daya dan distorsi merupakan dua hal parameter yang harus diperhatikan dalam sebuah sistem Power Ampifier. sehingga didalam rangkaian elektronik PA diharapkan memiliki efisiensi daya yang setinggi mungkin dan menghasilkan distorsi serendah mungkin. (Boylestad [6])

Ada berbagai macam metode yang digunakan untuk kepentingan peningkatan efisiensi daya ini, dimana salah satu metode yang digunakan adalah dengan metode menambah rangkaian switching pada tegangan catu yang disebut dengan Tracking wer Supply (TPS) seperti yang diberikan pada tulisan paper ini. (Noro [2], Caballero [3]).

Tracking power supply (TPS) adalah sebuah sistem rangkaian yang dapat melakukan tracking sinyal inputnya untuk dapat menyesuaikan tegangan sinyal outputnya terhadap sinyal input yang variabel. Metode yang digunakan menggunakan teknik power supply switching yang secara teoritis mempunyai efisiensi daya yang tinggi. (Pressman [5]).

Dalam penelitian ini, jenis kelas PA yang digunakan adalah kelas A, dimana secara teoritis merupakan power amplifier dengan efisiensi daya yang rendah dan paling tidak efisien, tetapi menghasilkan distorsi sangat rendah atau paling baik dibandingkan dengan kelas lainnya. Menurut Boylestad [8], Power Amplifier kelas A memiliki efisiensi daya maksimum hanya sebesar 25% untuk single polarity supply atau 50% yang dicapai pada metode operasi dual supply dengan push-pull. Douglas Self pernah mendesain power amplifier kelas A dengan daya 20W ke beban 8 Ω yang mampu menghasilkan distorsi serendah 0,0005% (Self [1]).

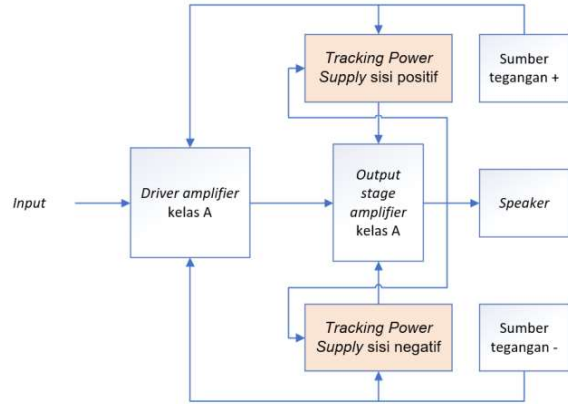
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat berkontribusi pada penelitian dibidang analog yang sudah mulai banyak ditinggalkan, khususnya bidang sistem audio dengan cara mengimplementasikan secara praktikal dan simulasi untuk penerapan metoda Tracking Power Supply pada power amplifier kelas A guna meningkatkan efisiensi daya nya dan masih dapat menghasilkan sinyal audio dengan distorsi yang rendah.

II. METODE PENELITIAN

A. Perencanaan Konsep Sistem

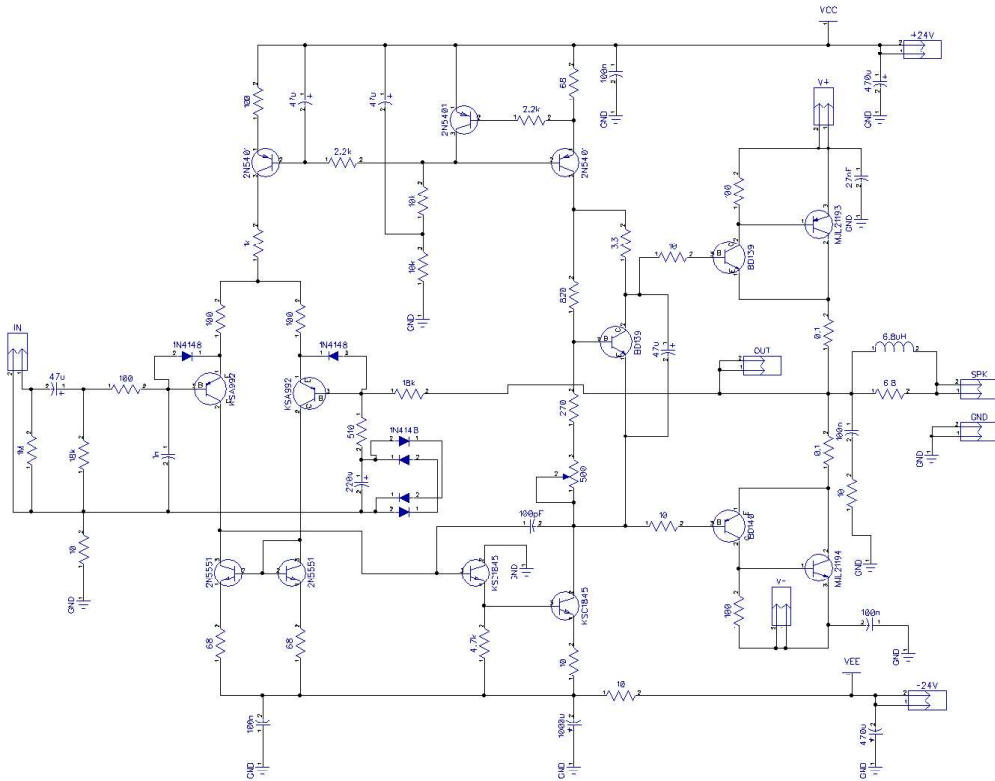
Konsep sistem yang digunakan pada penelitian ini secara diagram blok seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, yang didalamnya terdiri dari blok elektronik Rangkaian Driver dan Push-Pull dari APA dengan kelas A dengan dua blok rangkaian elektronik Tracking Power Supply yang ada pada sisi positif supply dan negatif supply dari APA nya.

Penelitian yang dilakukan pada konsep ini adalah dengan cara melakukan simulasi menggunakan NI Multisim 14.1 untuk semua blok yang digunakan kemudian berdasarkan hasil simulasi tersebut dibuat rangkaian elektronik praktikal berupa PCB dengan semua komponen penunjangnya, seperti: PCB rangkaian Driver, PCB rangkaian Power Amplifier dan dua PCB untuk rangkaian TPS untuk sisi supply tegangan positif dan supply tegangan negatif



Gambar 1. Diagram blok sistem APA dengan TPS.

Rangkaian TPS adalah rangkaian yang berfungsi untuk dapat menyesuaikan tegangan *output* nya terhadap variasi sinyal input yang variabel dengan menggunakan teknik switching. Secara blok diagram, rangkaian untuk TPS ini ditunjukkan pada Gambar 4. Penjelasan singkat tentang TPS ini adalah TPS akan mendapatkan sinyal *input* berupa sinyal audio yang berawal dari sinyal *output* Audio PA kelas A. Berdasarkan sinyal input ini, TPS akan memberikan *output* yang serupa dengan sinyal inputnya tersebut dengan tambahan *offset* pada komponen *output stage* dari rangkaian PA kelas A, yang bisa berupa Transistor atau FET.



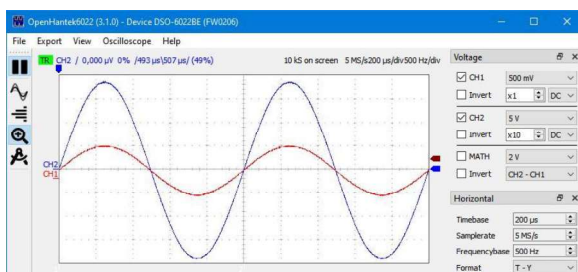
Gambar 2. Skema APA

B. Pemilihan Desain APA

Audio PA yang digunakan adalah PA yang didesain oleh Leo Simpson [4] dan Peter Smith [4]. Mereka mendesain Audio PA ini berdasarkan desain oleh Douglas Self. Audio PA ini mampu memberikan daya *output* sebesar 20 W ke beban 8Ω . Gambar skematik Audio PA yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2. Ada beberapa modifikasi atau pengembangan yang dilakukan pada skematik tersebut agar dapat dipadukan dengan rangkaian *Tracking Power Supply* yang akan dibuat dan untuk menurunkan distorsi. Modifikasi pengembangan yang dilakukan adalah:

- Kompensasi Audio PA diubah menjadi memiliki dua kapasitor dan resistor $2,2 \text{ k}\Omega$. Hal ini digunakan untuk menambahkan *feedback* dari *output stage* ke Voltage Amplifier Stage (VAS), untuk menurunkan distorsi pada frekuensi tinggi. Djarot [8]
- Perubahan nilai resistor pada emitor transistor *buffer* VAS, pada kolektor transistor VBE *multiplier*, resistor basis pada masing-masing transistor *driver output stage*, dan resistor *speed-up output stage*.
- Penambahan resistor *emitter degeneration* transistor VAS untuk meningkatkan linearitas transistor. Self [1]
- Perubahan nilai kapasitor *low-pass filter input* agar lebih mudah didapat di pasaran.
- Penambahan diode pada transistor *differential pair* untuk mencegah *reverse bias*.
- Perubahan tipe transistor *small signal* karena tipe asalnya tidak ada di perbendaharaan dalam simulator Multisim.

Untuk simulasi serta pengembangan yg diperlukan digunakan Multisim, Audio PA diberi *input* gelombang sinus 1 kHz, kemudian *input* dan *output* diukur menggunakan *oscilloscope*. Hasil pengukuran simulasi ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 terlihat bentuk gelombang suara serta linieritas antara tegangan input dan outputnya. Terlihat disini tidak terjadi pergeseran phase yang besar.



Gambar 3. Bentuk gelombang tegangan input dan output APA

C. Perancangan TPS

Rangkaian TPS ini didesain berdasarkan topologi yang didesain oleh Masao Noro untuk Yamaha. Noro [2], yang didalamnya terdapat rangkaian TPS sisi positif dan sisi negatif. Keduanya memiliki prinsip kerja yang sama, hanya polaritasnya berlawanan satu dengan lainnya. Diagram blok dari TPS ditunjukkan pada Gambar 4, dan rangkaian skematik dari TPS ditunjukkan pada Gambar 5.

Bagian utama dari rangkaian ini adalah blok *Switching Supply* dan blok *High Speed Voltage Buffer* (HSVB). Bagian kontrol dari rangkaian ini adalah *Current Sense Resistor* dan *High Speed* komparator. Untuk rangkaian Tegangan *Offset* berfungsi untuk memberikan nilai referensi *offset* pada *input*, sehingga *output* dari rangkaian *Tracking Power Supply* ini selalu lebih tinggi daripada tegangan *output* Audio PA nya. Rangkaian skematik TPS ditunjukkan pada Gambar 5.

Blok HSVB berfungsi untuk mengendalikan tegangan *output* dari rangkaian TPS Noro [2]. Selain mengendalikan tegangan *output*, juga sekaligus berfungsi menyuplai arus yang tidak dapat disuplai oleh blok *Switching Supply* ketika ada *input* transien. Hal ini disebabkan karena respon *Switching Supply* tidak secepat HSVB Noro [2]. Rangkaian HSVB ini akan selalu mengikuti sinyal audio dari *output* Audio PA untuk mensuplai tegangan di *output* stagenya, yang mempunyai penguatan tegangan sebesar 1 kali.

Rangkaian HSVB ini menggunakan konfigurasi *double emitter follower* untuk tiap sisi agar didapatkan penguatan arus yang tinggi dengan tidak ada penguatan tegangan (gain mendekati 1), sehingga untuk *drive* rangkaian ini hanya membutuhkan arus yang sangat kecil.

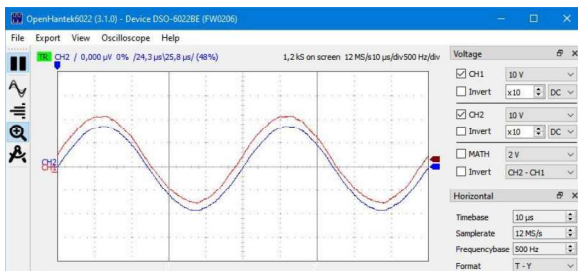
Jadi rangkaian HSVB akan selalu menghasilkan tegangan *output* yang sesuai dengan sinyal *input*, yang akan diumpankan pada *Output Stage* dari Audio PA.

Guna mengantisipasi arus *ripple* yang cukup besar dan pada frekuensi tinggi sekitar 200 kHz sampai 400 kHz, rangkaian ini menggunakan transistor yang memiliki frekuensi kerja yang tinggi untuk meminimalkan distorsi. Pada sisi positif, Transistor yang digunakan adalah transistor NPN BD139 sebagai transistor *driver*, dan MJE15032 sebagai transistor *output*, dan pada sisi negatif, transistor yang digunakan adalah transistor PNP BD140 sebagai transistor *driver*, dan MJE15033 sebagai transistor *output*.

Current Sense Resistor terdiri dari resistor dan diode dalam hubungan paralel. Besarnya arus yang melewati HSVB terukur dengan tegangan pada *Current Sense Resistor*. Rangkaian ini menggunakan Komparator Histerisis (Boylestad [6], Moghimi [7]), yang akan mengukur tegangan pada *Current Sense Resistor* dan membandingkannya dengan tegangan referensi, dengan tujuan agar ketika arus yang melewati HSVB sudah melebihi batas atas, terjadi *switching* pada *output* komparatornya. Hal ini diperlukan untuk mengaktifkan rangkaian *Switching Supply* yang memiliki efisiensi relatif tinggi. Noro [2].

Dengan aktifnya rangkaian *Switching Supply*, besar arus yang melewati HSVB akan berkurang. Hal ini terdeteksi oleh komparator histerisis, yang kemudian akan menonaktifkan rangkaian *Switching Supply* ketika arus HSVB sudah kurang dari batas bawah. Dengan tidak aktifnya *Switching Supply*, arus HSVB akan naik kembali sampai mencapai batas atasnya. Siklus ini akan terulang secara terus menerus.

Untuk pengujian efektifitas dan kemampuan *tracking* dari *Tracking Power Supply* ini, Rangkaian Audio PA yang telah digabung dengan TPS disimulasikan dan diukur menggunakan *oscilloscope*, dengan metode diberi *input* gelombang sinus 20 kHz. Hasil dari simulasi untuk *output* Audio PA yang ditunjukkan dengan garis biru dan hasil *output* dari rangkaian TPS sisi positif yang ditunjukkan dengan garis merah seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6. tersebut, terlihat linieritas yang terjadi antara tegangan output rangkaian TPS terhadap signal audio output dari Audio Panya. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian TPS tersebut berjalan sesuai dengan harapan yang diinginkan pada penelitian ini.



Gambar6. Bentuk gelombang tegangan *output* APA dan TPS sisi positif.

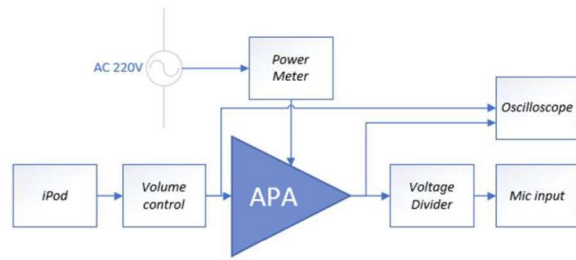
III. HASIL

Hasil simulasi dari rangkaian Audio PA dan rangkaian TPS yang telah berhasil pada tahap simulasi kemudian direalisasikan dengan rangkaian sesungguhnya dengan merealisasikan rangkaian pada papan cetak rangkaian (PCB, Printed Circuit Board). Hasil realisasi ini kemudian diuji terhadap distorsi nya dengan mengukur besarnya Total Harmonic Distortion (THD) serta diukur efisiensinya.

Metode pengujian untuk efisiensi dan distorsi yang dilakukan adalah dengan membandingkan performa pada rangkain Audio PA tanpa TPS dibandingkan dengan Audio PA dengan TPS. Perangkat alat ukur yang digunakan adalah *Power Meter*, *Oscilloscope*, *Multimeter*, dan komputer *laptop* yang difungsikan sebagai *Audio Spectrum Analyzer* dan *THD Meter*. Cara atau metode pengujian yang dilakukan menggunakan konfigurasi pengukuran seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

Untuk pengukuran distorsi THD dilakukan menggunakan cara membandingkan distorsi pada Audio PA dengan TPS dan tanpa TPS. Besarnya THD diukur pada rentang frekuensi audio, yaitu pada 20 Hz, 50 Hz,

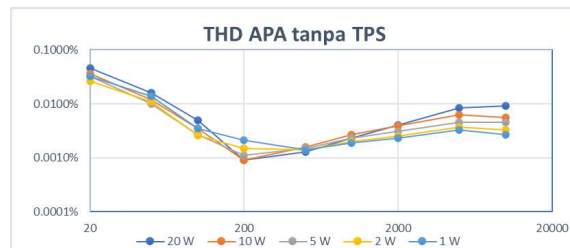
100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz, dan 20 kHz.



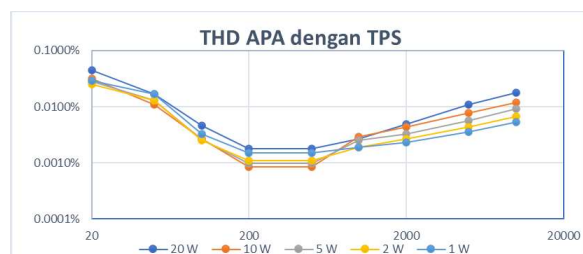
Gambar 7. Konfigurasi alat ukur untuk mengukur THD dan efisiensi.

Pengukuran THD juga dilakukan pada variasi daya output, yaitu untuk daya *output* 1 W, 2 W, 5 W, 10 W, dan 20 W terhadap beban speaker 8 Ω.

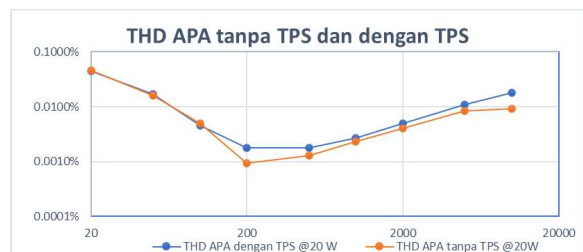
Hasil pengukuran THD Audio PA tanpa TPS ditunjukkan pada Gambar 8. Hasil pengukuran THD Audio PA dengan menggunakan rangkaian TPS ditunjukkan pada Gambar 9. Pada Gambar 10 menunjukkan perbandingan untuk THD Audio PA tanpa TPS dan dengan TPS secara bersamaan dengan variasi frekuensi untuk daya output 20 Watt



Gambar8. Grafik THD APA tanpa TPS.



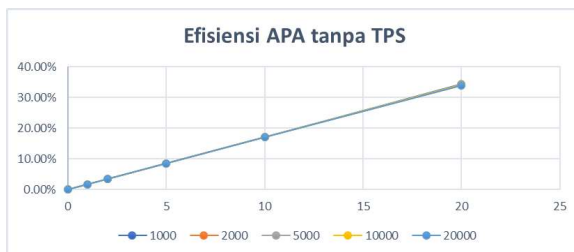
Gambar9. Grafik THD APA dengan TPS.



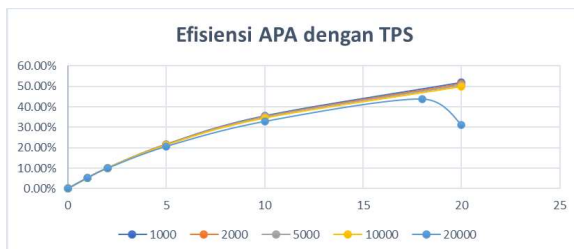
Gambar 10. Grafik THD APA tanpa TPS dan dengan TPS

Catatan untuk pengukuran tidak dilakukan pada frekuensi 20KHz, hal ini disebabkan terjadi distorsi cukup besar yang terukur pada frekuensi 20 kHz. Hal ini terjadi karena semua hasil terpengaruh oleh *low-pass* filter pada *input microphone* laptop yang digunakan untuk mengukur. Jadi pengukuran tidak dilakukan untuk frekuensi 20 kHz.

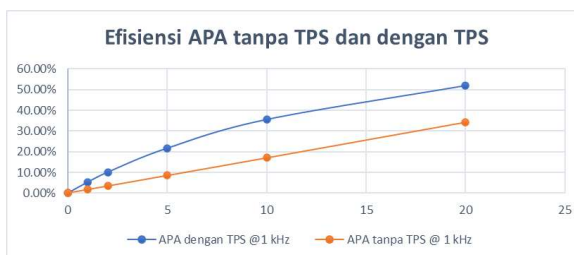
Untuk pengukuran efisiensi daya diukur pada 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz, dan 20 kHz. Untuk masing-masing frekuensi, pengukuran efisiensi daya dilakukan untuk daya *output* 1 W, 2 W, 5 W, 10 W, dan 20 W ke beban 8Ω . Daya *input* diukur menggunakan *Power Meter*. Hasil pengukuran efisiensi Audio PA tanpa TPS ditunjukkan pada Gambar 11, sedangkan hasil pengukuran efisiensi Audio PA dengan TPS ditunjukkan pada Gambar 12. Pada Gambar 13 ditunjukkan perbandingan pengukuran efisiensi Audio PA tanpa TPS dan dengan TPS secara bersamaan dalam sebuah grafik untuk memudahkan melihat analisa hasil pengukurannya



Gambar 11. Grafik Efisiensi APA tanpa TPS



Gambar 12. Grafik Efisiensi APA dengan TPS



Gambar 13. Grafik Efisiensi APA tanpa TPS dan dengan TPS

Catatan pada frekuensi 20 kHz dan daya *output* 20W yang ada pada Gambar12, terlihat kecepatan *tracking* TPS tidak cukup untuk melakukan *tracking* secara penuh, sehingga efisiensi menjadi menurun secara signifikan. Kecepatan *tracking* TPS hanya mampu mengikuti sinyal *output* Audio PA pada daya maksimum *output* 18 W untuk frekuensi sinyalnya 20 kHz. Untuk kondisi tersebut efisiensi daya yang didapatkan adalah 43,78%.

Berdasarkan data-data yang sudah didapatkan dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan TPS pada Audio PA kelas A berhasil meningkatkan efisiensi daya dari Audio PA tersebut. Terlihat bahwa efisiensi daya maksimum Audio PA tanpa TPS didapatkan sekitar 34%, sedangkan efisiensi daya maksimum Audio PA dengan TPS bisa didapatkan mencapai 51% pada power maksimum 20W. Jadi adanya TPS akan terjadi peningkatan efisiensi daya dari 34% menjadi 51%, atau terjadi kenaikan efisiensi sebesar 17%.

IV. DISKUSI

Penelitian yang berkaitan dengan topik penelitian ini pernah dilakukan sebelumnya oleh Noro[2] pada tahun 1992, dan oleh Caballero[3] pada tahun 2004. Noro meneliti rangkaian TPS untuk diterapkan pada Audio PA kelas AB, sedangkan Caballero meneliti penggunaan Audio PA kelas D sebagai Tracking Power Supply untuk meningkatkan efisiensi dari Audio PA kelas A. Namun penelitian ini terealisasi karena kesulitan mendesain filter *output* pada Audio PA kelas D tersebut.

Penelitian sejenis yang dilakukan oleh oleh Noro menggunakan Audio PA kelas AB. Noro[2], sedangkan pada penelitian disini menggunakan Audio PA kelas A dengan dua polaritas tegangan, yang transistor *output stagenya* menghantarkan arus selama 360° dari siklus sinyal *output*, sehingga desain rangkaian disesuaikan agar dapat melakukan *full wave tracking*, tidak hanya pada setengah gelombang saja.

Rangkaian TPS yang didesain pada penelitian ini masih memiliki beberapa kelemahan, yang mungkin dapat diperbaiki di penelitian selanjutnya, diantaranya: Audio PA dengan TPS akan beresilasi jika diberi *input* gelombang kotak dengan *rise time* dan *fall time* yang terlalu cepat. Juga kecepatan tracking TPS tidak cukup tinggi untuk meningkatkan efisiensi Audio PA pada kondisi frekuensi 20KHz yang memberikan daya *output* 20 W.

V. KESIMPULAN

Beberapa simpulan yang dapat diambil setelah melakukan perancangan alat, pengujian, dan analisis pengukuran adalah sebagai berikut:

1. Audio PA dengan TPS telah berhasil disimulasikan dan direalisasikan pada papan cetak rangkaian PCB.. Berdasarkan pengujian, Audio PA dengan TPS berhasil memberikan *output* gelombang sinus dengan daya sebesar 20 W ke beban yang direncanakan (8Ω) sampai ke frekuensi audio 20 KHz
2. Adanya rangkaian TPS, dapat meningkatkan efisiensi Audio PA. Berdasarkan perbandingan efisiensi daya pada Gambar 13, terlihat bahwa efisiensi Audio PA tanpa TPS maksimal mencapai 34%, sedangkan efisiensi Audio PA dengan TPS maksimal mencapai 51%. Artinya ada peningkatan efisiensi sebesar 17%.
3. Pada peningkatan efisiensi dengan TPS, terjadi penambahan harmonic, yaitu peningkatan THD. Hal ini terlihat pada grafik perbandingan THD pada Gambar 10, yang menunjukkan THD Audio PA tanpa TPS pada daya *output* 20W dengan frekuensi

10 kHz adalah 0,009%, sedangkan THD Audio PA dengan TPS pada daya dan frekuensi *output* yang sama menjadi 0,018%, yang berarti ada peningkatan THD sebesar 0,009%.

4. Pada grafik perbandingan THD pada Gambar 10, terlihat pengaruh TPS terhadap THD cenderung membesar seiring dengan bertambahnya atau membesarnya frekuensi kerja audio.
5. Ada batasan kecepatan *tracking* yang mampu dilakukan oleh TPS. Berdasarkan pengujian, pada frekuensi 20 kHz dan daya *output* 20 W, efisiensi Audio PA dengan TPS menurun cukup signifikan seperti terlihat pada grafik Gambar 12.

PUSTAKA ACUAN

- [1] D. Self, *Audio Power Amplifier Design Handbook*, 4th ed., vol. 84, no. 1505. Elsevier, 2006.
- [2] M. Noro, *Amplification Circuit*, 5347230, 1992.
- [3] A. A. Caballero, *A Class-D-Tracking-Rail Class-A Audio Power Amplifier by*, Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- [4] B. Leo Simpson and P. Smith, *Constructional Project 20W Class-A Amplifier Module*, *Everyday Pract. Electron.*, no. October, 2008.
- [5] A. I. Pressman, *Switching Power Supply Design*, 3rd ed., vol. 72, no. 16. 2009.
- [6] R. L. Boylestad, *Electronic Devices and Circuit Theory*. Pearson, 2011.
- [7] B. R. Moghimi, *Curing Comaparator Instability with Hysteresis*, vol. 7, pp. 4–6, 2000.
- [8] Djarot, *HiFi 100W Class-AB rev.A2 - AudioShare*, 2014.