

TEKNIK PEMBUATAN ELEMEN SENSOR *FLUXGATE* MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *PRINTED CIRCUIT BOARD* (PCB)

Yulkifli^{*)}, Asrizal^{*)}, Mitra Djamal^{**)}

^{*)}Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA UNP, email: yulkifliamir@yahoo.com

^{**)}KK-FTETI FMIPA Institut Teknologi Bandung

ABSTRACT

Micro sensor technology has produced the low sensor sensitivity because its cross sectional was small. Method to fabricate this sensor more complex so the price to make it was very expensive. To solve this problem was to develop the printed circuit board (PCB). The PCB technology has many advantages, those are the cross sectional area more bigger so its sensitivity is higher, the fabrication process is easier. By this method, the price of PCB technology is more cheap than micro sensor technology. There are four stages to make fluxgate sensor element with PCB technique, those are : 1) engineering design, 2) physical design of PCB, 3) print to PCB, and 4) integrate of PCB element becomes fluxgate sensor. The stage from 1 until 3 need the certain software such as Computer Aided Engineering (CAE), Computer Aided Design, and Computer Aided Manufacturing (CAM). To get the better result, all of processes have good relation and they can't be separated.

Keywords: *Technique, sensor, fluxgate element, PCB*

PENDAHULUAN

Besarnya kompetisi di pasar bebas mengharuskan pengembangan instrumen yang terus menerus baik dari sisi kualitas, harga maupun keandalannya (Traenkler, 2001). Meningkatnya kebutuhan untuk otomatisasi, keamanan dan kenyamanan menggiring orang untuk mengembangkan sensor dan sistem sensor baru dengan prinsip dan metoda yang berbeda-beda. Jumlah sensor dan sistem sensor yang diperlukan juga meningkat. Saat ini teknologi sensor telah memasuki bidang aplikasi baru dan pasar yang semakin meluas seperti otomatis, *Riset and development*, rumah cerdas (*smart home*) dan teknologi pengolahan (Meijer 2008 dan Intecho, 2008).

Sensor magnetik adalah alat ukur medan magnet yang banyak digunakan orang untuk berbagai keperluan, antara lain untuk penelitian bahan-bahan magnetik, keamanan penerbangan (mendeteksi barang bawaan), pemetaan medan magnet

bumi, penentuan posisi benda, dan pengesanan kebocoran medan magnet dari suatu alat penghasil medan magnet seperti penguas suara, magnetron dan peralatan magnetik lainnya. Sensor *fluxgate* sebagai salah satu sensor magnetik yang akan dikembangkan ini memenuhi kriteria di atas dimana prosesnya tidak terlalu kompleks, sinyal keluaran mudah didigitalisasi, linieritas tinggi, ukuran relatif kecil, dan sensitivitas tinggi (Gopel, dkk., 1989).

Peningkatkan daya kerja sensor *fluxgate* seperti: sensitivitas, akurasi, dll. telah dilakukan oleh para peneliti seperti perbaikan pada desain elemen sensor, rangkaian pengolah sinyal, dan meminimatur ukuran sensor dalam orde yang lebih kecil dengan berbagai pendekatan. Beberapa pendekatan teknologi yang digunakan oleh para peneliti dalam mengoptimasi sensor *fluxgate*, antara lain: teknologi konvensional, teknologi PCB, teknologi mikro dan teknologi *hybride* (kombinasi). Setiap teknologi yang digunakan berbeda

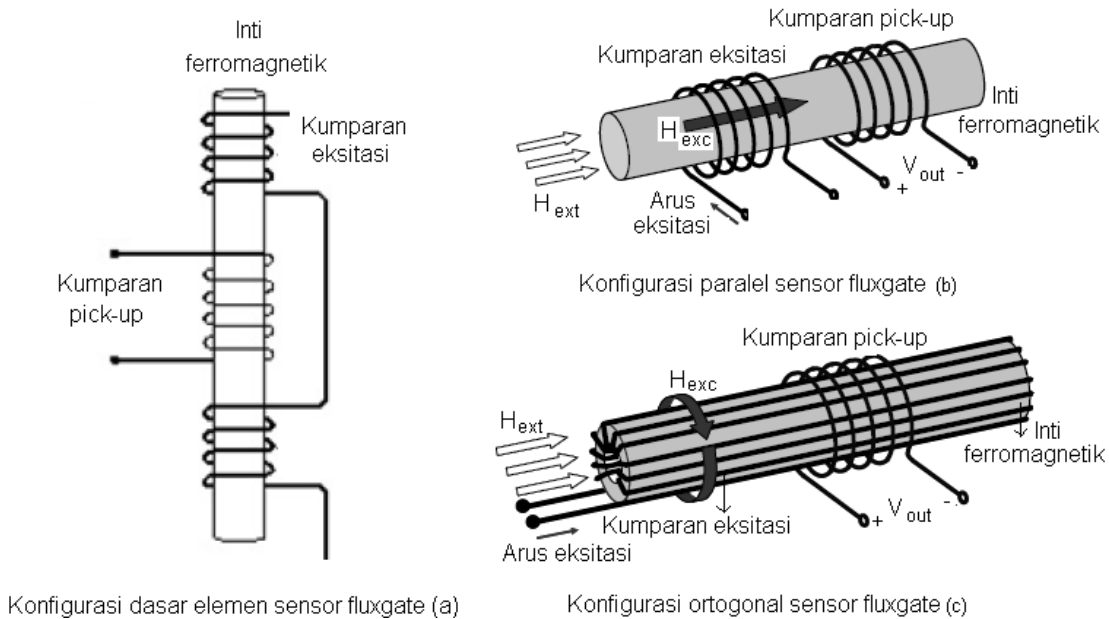
pada bentuk sensor, material inti, teknologi penanaman inti, dan data kinerja sensor.

Paper ini akan membahas teknik pembuatan elemen sensor *fluxgate* menggunakan teknologi printer circuit board (PCB). Sebagai landasan teoritis yang diperlukan untuk membahas pembuatan sensor fluxgate ini adalah konsep dasar sensor fluxgate, teknologi sensor, dan teknologi printed circuit.

1. Konsep Dasar Sensor Fluxgate

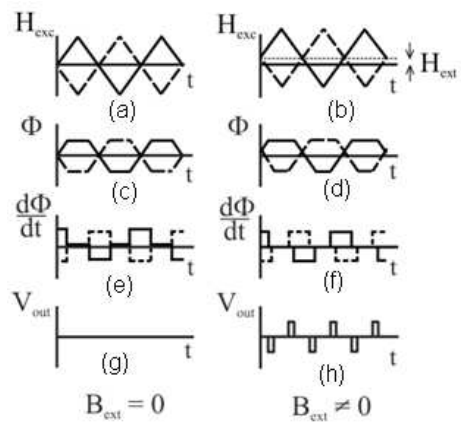
Sensor *fluxgate* adalah sensor magnetik yang bekerja berdasar perubahan flux magnetik disekitar elemen sensor

(Gopel, dkk., 1989). Elemen sensor *fluxgate* terdiri dari kumparan primer (*excitation coil*), kumparan sekunder (*pick-up coil*) dan inti ferromagnetik (*core*), seperti ditunjukkan **Error! Reference source not found..a**). Berdasarkan arah medan eskitasi yang dihasilkan oleh kumparan eksitasi, maka elemen sensor *fluxgate* terdiri dari dua, yaitu: sensor *fluxgate* orthogonal: arah medan eksitasi tegak lurus arah medan eksternal yang diukur, sedangkan parallel sensor *fluxgate*: arah medan medan eksitasi sejajar dengan medan eksternal yang diukur, seperti ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi dasar kumparan elemen sensor *fluxgate* (Zorlu, 2008)

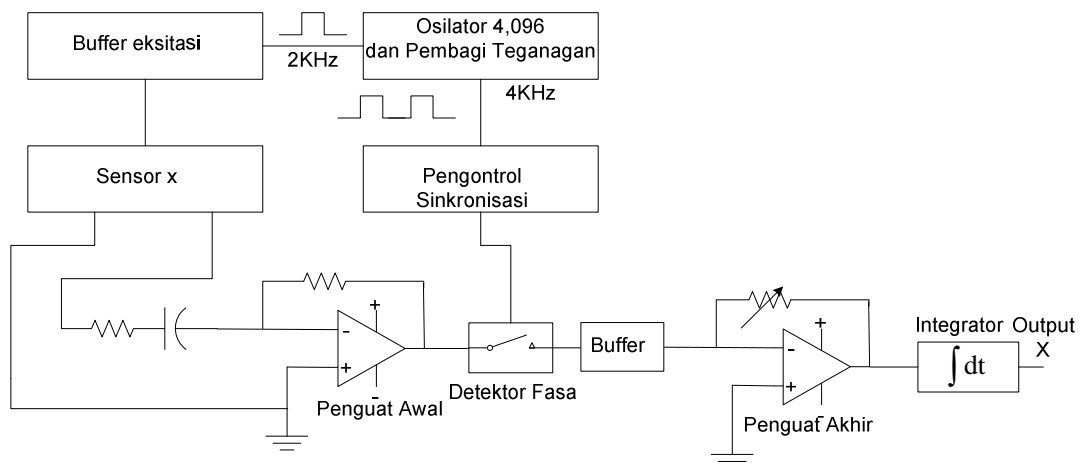
Pengukuran kuat medan magnet dengan metode *fluxgate* didasarkan pada hubungan antara kuat medan magnet H yang diberikan dengan fluks medan magnet induksi B . Jika B yang dihasilkan berasal dari masukan H berupa gelombang pulsa bolak-balik, maka dalam keadaan saturasi pada keluaran B akan timbul gelombang harmonik genap, gelombang harmonik ke dua, yang besarnya sebanding dengan medan magnet luar yang mempengaruhi inti (*core*) dan arahnya sebanding dengan arah medan magnet luar. Prinsip pengukuran dengan sensor fluxgate dapat ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Prinsip kerja sensor *fluxgate* (Grueger, dkk., 2002., Djamal, 2010).

Prinsip kerja sensor *fluxgate* ketika mengukur perubahan medan magnet luar ditunjukkan pada Gambar 2. Prinsip kerja sensor magnetik *fluxgate*. a) Medan eksitasi tanpa medan magnet luar $B_{ext}=0$; b) Medan eksitasi dengan medan magnet luar $B_{ext}\neq 0$; c) kurva magnetisasi dalam keadaan saturasi pada $B_{ext}=0$; d) kurva magnetisasi dalam keadaan saturasi pada $B_{ext}\neq 0$; e) perubahan fluks terhadap waktu pada $B_{ext}=0$; f) perubahan fluks terhadap waktu pada $B_{ext}\neq 0$; g) tegangan keluaran sensor pada $B_{ext}=0$; h) tegangan keluaran sensor pada $B_{ext}\neq 0$.

Tegangan keluaran V_{out} dari elemen sensor diolah dengan menggunakan rangkaian pengolah sinyal. Pengolah sinyal sensor terdiri dari beberapa bagian, yaitu differensiator, detektor, sinkronisasi fasa, integrator, dan penguat akhir. Secara skematik terlihat pada Tegangan keluaran V_{out} dari elemen sensor diolah dengan menggunakan rangkaian pengolah sinyal. Pengolah sinyal sensor terdiri dari beberapa bagian, yaitu differensiator, detektor, sinkronisasi fasa, integrator, dan penguat akhir. Secara skematik diagram pengolahan sinyal diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema diagram pengolahan sinyal sensor (Yulkifli, 2008)

Karakteristik tegangan keluaran sensor *fluxgate* dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain: jumlah lilitan eksitasi dan *pick-up*, jumlah lapisan inti (Yulkifli, dkk., 2007a, 2007b, 2007c, 2009, 2010), dimensi geometri elemen sensor (Hinnrics, dkk., 2001; Liu 2006, sifat dan jenis material inti ferromagnetik (Gopel, 1998 dan Ripka, dkk., 2008), frekuensi dan arus eksitasi (Ripka 2001a dan Janosek, 2009). Pemilihan bahan inti sangat penting karena menentukan sensitivitas dan akurasi dari sensor (Ripka, P., 2001b). Disamping itu inti harus bersifat robus terhadap pengaruh luar seperti vibrasi akustik dan deformasi mekanik. Bahan yang memenuhi persyaratan tersebut Vitrovac dan Metglass. Vitrovac atau kaca logam $Co_{66.5}Fe_{3.5}Si_{12}B_{18}6025$ mempunyai permeabilitas relatif yang tinggi, yaitu sekitar 100000. Penggunaan pita Vitrovac memungkinkan

desain sensor dengan ukuran yang cukup kecil dan robus (Moldovanu, dkk., 2000).

Untuk mengevaluasi tegangan keluaran sensor *fluxgate* digunakan fungsi transfer. Fungsi transfer suatu sensor magnetik *fluxgate* menggambarkan hubungan antara tegangan keluaran V_o dengan medan magnet yang diukur. Fungsi transfer dapat dihitung menggunakan pendekatan polinomial kemudian mencari komponen frekuensi yang ada di dalam kerapatan fluks magnetik inti sensor. Penggunaan pendekatan polinomial teknik harmonisa kedua akan memudahkan untuk menyederhanakan fungsi transfer ke dalam komponen frekuensi (Göpel, 1989). Perubahan flux magnetik yang berasal dari kumparan eksitasi ditangkap oleh kumparan *pick-up* dalam bentuk tegangan (ggl). Komponen tegangan keluaran harmonisa kedua V_{out2h} dari kumparan *pick-up* adalah

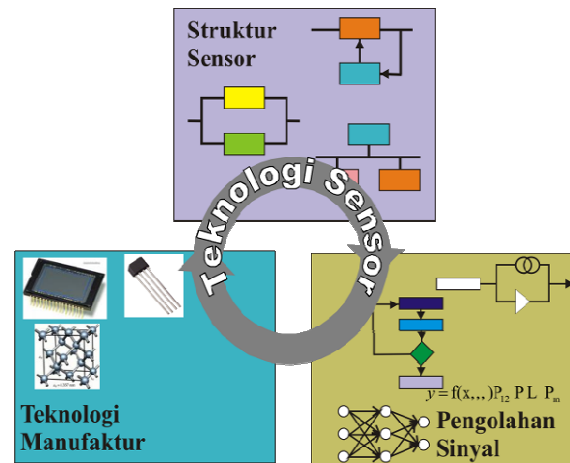
$$V_{out2h} = -3B_0 NA \omega a_3 h_{ext} h_{ref\ max}^2 \sin 2\omega t$$

dengan B_0 adalah amplitudo medan eksitasi, N jumlah lilitan pick-up, A luas penampang inti, ω kecepatan sudut, h_{ext} medan eksternal dan $h_{ref\ max}$ adalah medan referensi dari eksitasi, Dari persamaan di atas terlihat bahwa tegangan keluaran harmonisa ke dua adalah berbanding lurus dengan kuat medan yang diukur (Djamal, dkk., 2005, Bashiroto, dkk., 2006).

2. Teknologi Sensor

Tantangan utama teknologi sensor masa kini adalah mengukur besaran-besaran yang selama ini sulit atau tidak bisa diukur dan meningkatkan nilai informasi sensor dengan menggunakan metoda-metoda pengukuran yang sudah dikenal (Traenkler, 2007). Dalam pengembangan sensor dan sistem sensor perlu dipilih prinsip-prinsip pengukuran yang cocok, pengukuran-pengukuran khusus perlu dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan sensor (Traenkler, 1998). Dalam hal ini perlu dikompromikan antara biaya dan permintaan.

Peningkatan kemampuan sensor secara umum dapat dicapai dengan melakukan pemilihan yang tepat terhadap teknologi manufaktur, struktur sensor dan pengolah sinyalnya. Kemampuan suatu sensor atau sistem sensor ditentukan oleh interaksi yang kuat dari tiga komponen utama pembentuknya, seperti struktur sensor, teknologi manufaktur dan algoritma pengolah sinyalnya (Traenkler, 2001). Perkembangan teknologi sensor juga dipengaruhi oleh perkembangan dari ketiga bidang ini, ketiga komponen tersebut di tunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tiga komponen utama teknologi sensor (Traenkler, 2001).

Bagian inti dari struktur suatu sistem sensor adalah elemen sensor. Bagian ini mengubah besaran fisika atau kimia yang diukur menjadi sinyal analog elektronik. Adanya fluktuasi beberapa parameter yang terjadi selama proses fabrikasi, menyebabkan terjadinya variasi manufaktur. Faktor-faktor pengaruh seperti temperatur, tekanan, dan kelembaban dapat mempengaruhi karakteristik sensor. Efek penuaan dalam beberapa hal dapat mempengaruhi karakteristik sensor, seperti perubahan sensitivitas atau pergeseran titik nol. Pengolahan sinyal sensor ditujukan untuk mengatasi efek-efek pengaruh (*influence factors*) sehingga didapat nilai yang terbaik dari hasil pengukuran. Dengan teknik pengolahan sinyal yang sesuai maka karakteristik sistem sensor dan ketelitiannya dapat ditingkatkan secara signifikan.

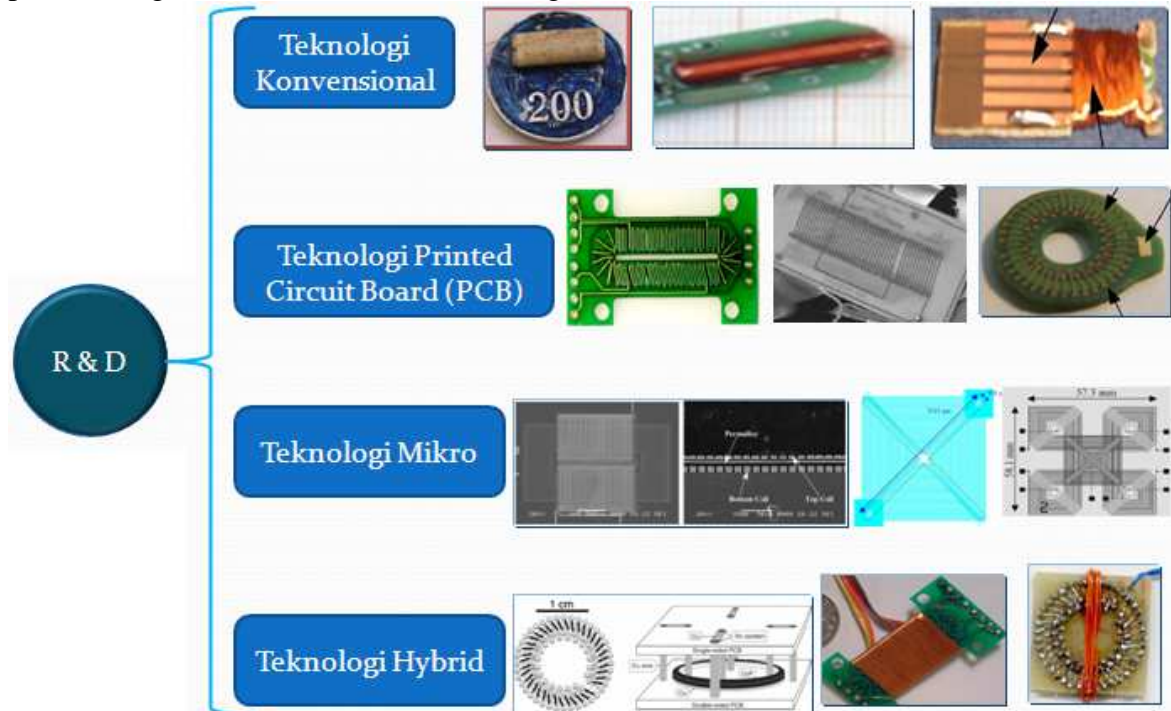
Penggunaan teknologi baru untuk menghasilkan sensor-sensor tertentu tidak langsung berkaitan dengan peningkatan kemampuan sensor secara menyeluruh. Semakin banyak langkah-langkah teknologi proses yang dilakukan dalam membuat sensor atau sistem sensor maka akan semakin rumit teknik-teknik yang diperlukan untuk mengatasi efek-efek sensor yang tidak diinginkan. Untuk mendapatkan kemampuan sensor atau sistem sensor yang optimal perlu dipilih kombinasi yang tepat antara teknologi

dengan sistem pengolah sinyal yang digunakan. Dengan demikian pembuatan sensor dan sistem sensor lebih mudah dan biaya murah tentunya dengan kualitas yang dapat bersaing dengan produk luar negeri.

3. Teknologi Printed Circuit untuk Pembuatan Elemen Sensor *Fluxgate*

Teknologi pembuatan sensor maka *fluxgate* saat ini terus mengalami perkembangan, antara lain, teknologi

mikro, teknologi PCB, teknologi hybrid. Teknologi hybrid merupakan kombinasi antara teknologi konvensional dengan ketiga teknologi di atas. Empat teknologi ini beserta contoh elemen sensor yang telah berhasil dikembangkan ditunjukkan Perkembangan teknologi sensor juga dipengaruhi oleh perkembangan dari ketiga bidang ini, ketiga komponen tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Perkembangan teknologi pembuatan elemen sensor *fluxgate*

a. Teknologi konvensional

Teknologi konvensional adalah teknologi manual dimana kawat email kumparan eksitasi dan pick-up dililitkan secara manual sedangkan core sebagai inti ferromagnetik masih menggunakan material buatan industri seperti Vitrovac dan Metglas.

b. Teknologi *printed circuit board* (PCB)

Teknologi ini hanya digunakan untuk menggantikan peranan kawat email yang sering dililitkan secara manual pada kumparan eksitasi dan pick-up. Teknologi PCB dikembangkan semenjak tahun 1999 oleh Dezuari, dkk., dari Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne

(Switzerland), kemudian menyusul Perez, dkk., 2004 dari Univ. Complutense de Madrid and Madrid Polytechnical University (Spain), Choi, dkk., 2004 dari Kangnung National University and Samsung Advanced Institute of Technology in Suwon (Korea), Baschiroto, dkk., 2004 dan 2006 dari University of Lecce and University of Pavia in Italy, Andò, dkk., 2004., dari University of Catania (Italy) and Space and Naval Warfare Systems Center, San Diego (USA), Tipek, dkk., 2005 dan Kubik, dkk., 2006 dari Czech Technical University, Prague. Pembuatan elemen sensor dengan teknologi PCB memiliki proses yang sederhana dan murah sehingga biayanya murah. Kekurangannya adalah ukurannya

lebih besar dibandingkan konvensional apalagi jika dibandingkan dengan teknologi mikro.

c. Teknologi mikro (microfabrication)

Peranan kawat email dan inti ferromagnetik sebagai inti dibuat menggunakan berbagai proses teknologi mikro, antara lain *electroplated/ electroplating, chemical etching, flex-foil, photolithography, photoresist dan evaporasi*, beberapa peneliti yang mengembangkan teknologi ini adalah: (Kawahito, dkk., 1994; 1996; Ripka, dkk., 2001b, 2001c; Park, dkk., 2004; Wang, dkk., 2006; Fan, dkk., 2006 dan Zorlu, dkk., 2008)

Pendekatan dengan teknologi mikro mempunyai proses yang sangat kompleks sehingga mengakibatkan harga proses pembuatan mahal, sensitivitasnya yang dihasilkan rendah karena luas penampang (*cross-sectional*) menjadi kecil sehingga untuk memperoleh sensitivitas yang tinggi diperlukan frekuensi yang tinggi, dan keterbatasan dalam jumlah lilitan dalam solenoide (Ripka, dkk., 2001c, dan Liu, dkk., 2006). Menurut Ripka, (2008) penggunaan inti ferromagnetik dalam bentuk padatan (*bulk soft magnetik*) lebih baik dari pada core berbentuk film tipis, hal ini dikarenakan besar magnet yang terukur bergantung pada luas penampang core. Sensor dengan proses teknologi mikro memiliki noise yang besar dibandingkan dengan teknologi PCB (Kubik, 2006).

Ketiga pendekatan di atas masih digunakan dan proses pembuatan sensor *fluxgate* dan fabrikasi divais masih sering dilaporkan (Zorlu, 2008).

d. Teknologi hybrid

Kombinasi dari teknologi di atas disebut *hybrid technology* (Dezuari, dkk., 1999). Teknologi ini mengkombinasikan proses pembuatan elemen sensor diantara teknologi beberapa peneliti yang mengkombinasikan ini adalah: Belloy, dkk., 2000, Tipek, dkk., 2005 dan Perez, dkk., 2004. Berbagai usaha telah dilakukan

peneliti untuk meningkatkan daya kerja sensor *fluxgate* (sensitivitas, akurasi dll.) seperti perbaikan pada desain struktur sensor, rangkaian pengolah sinyal dan meminiatur ukuran sensor dalam orde yang lebih kecil (*microfabrication technology*)

METODE PENELITIAN

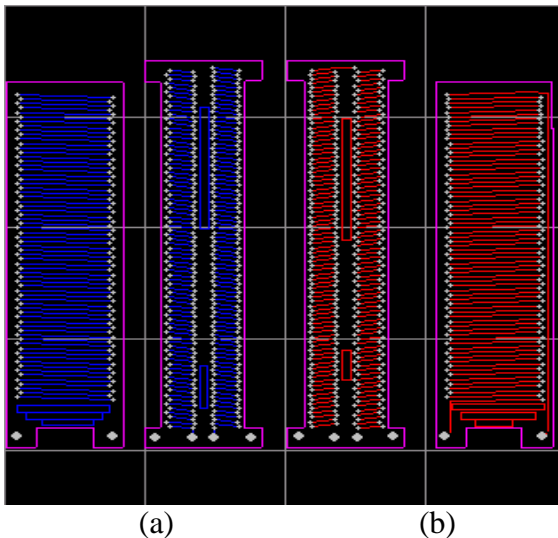
Secara umum teknik pembuatan rangkaian elektronika dengan teknologi printed circuit board tiga tahapan proses, yaitu (1). Desain engineering, (2). Desain fisik PCB, (3), Pencetakan ke PCB. Setiap tahap memerlukan perangkat lunak tertentu. Ketiga perangkat lunak tersebut adalah Computer Aided Engineering (CAE), Computer Aided Design (CAD) dan Computer Aided Manufacturing (CAM). (SELCO, 2008). Agar mendapatkan hasil yang diharapkan semua proses mempunyai keterkaitan yang sangat erat dan tidak dapat dipisahkan.

Pembuatan elemen sensor *fluxgate* dengan teknik PCB memerlukan kiat-kiat khusus. Elemen sensor *fluxgate* dengan teknik PCB terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan atas dan lapisan bawah. Untuk mendapatkan hasil yang bagus maka perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. *Footprint* : adalah besar ukuran lubang-lubang untuk menyatukan antar komponen
2. *Track* (jalur) yang menggantikan sistem gulungan kawat yang dilakukan selama ini.
3. Jarak antara jalur-jalur lilitan, langkah 1-3 ini ada pada saat desain engineering.
4. Pemasangan bahan ferromagnetik diantara kedua elemen sensor. Agar tidak ada rongga udara diantara kedua lapisan sebaiknya posisi bahan di beri lekukan.
5. Pensolderan antara elemen sensor lapisan atas dan bawah
6. Pemasangan kabel konektor agar tidak cepat putus.

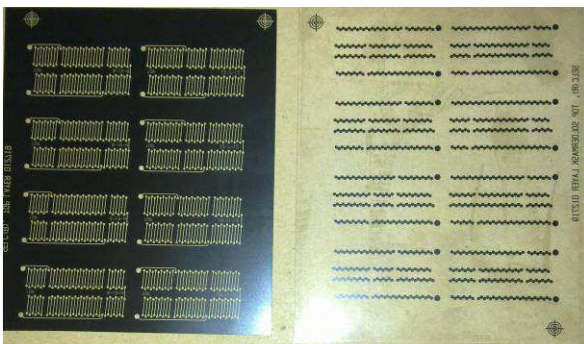
HASIL PENELITIAN

Pembuatan Sensor *fluxgate* dengan PCB diawali dengan pendesaian rekayasa struktur sensor. Desain engineering ini dapat dibuat menggunakan program protel atau proteus. Pembuatan jalur antara lapisan atas dan lapisan bawah harus betul-betul simetris supaya saat disatukan nanti lobang bagian elemen atas tepat bertemu dengan lapisan bawah. Bentuk desain engineering elemen sensor *fluxgate* ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 5. Hasil desain engineering struktur sensor *fluxgate* PCB: a) bagian atas (*top layer*), b) bagian bawah (*bottom layer*)

Proses berikutnya adalah memprint hasil desain engineering agar dapat dicetak dalam bentuk film foto seperti ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Film Foto desain rekayasa struktur sensor *fluxgate* PCB

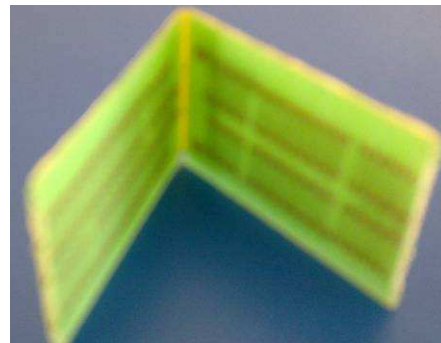
Tahap berikutnya adalah mencetak film foto menjadi PCB. Film foto dikirimkan ke Pabrik percetakan Multykarya di Bandung, Hasil PCB cetak dapat terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Foto PCB cetak sensor *fluxgate*

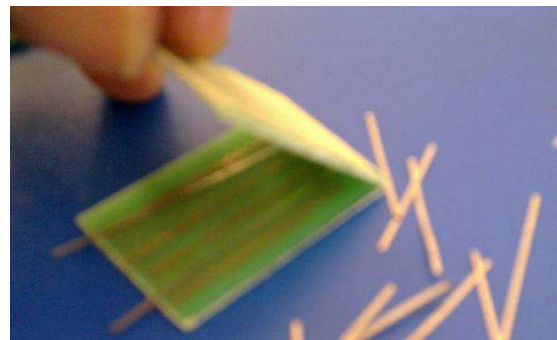
PCB cetak ini akan dirakit untuk dijadikan sebuah elemen sensor *fluxgate* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memisahkan bagian atas dan bagian bawah elemen sensor



Gambar 8. Foto elemen PCB *fluxgate* sebelum di satukan

2. Memasukkan bahan ferromagnetik diantara kedua elemen PCB



Gambar 9. Foto elemen PCB *fluxgate* ketika dimasukkan bahan ferromagnetik

3. Menyatukan bagian atas dan bawah

Bagian atas dan bagian bawah masih disatukan menggunakan teknik manual yaitu melalui cara penyolderan. Penyolderan ini memerlukan timah dan kawat halus. Hal ini dikarenakan kecilnya hole antara kedua lapisan. Bentuk PCB yang sudah disolder ditunjukkan Gambar 10



Gambar 10. Foto elemen PCB *fluxgate* setelah disatukan dengan solder

4. Memasang kabel konektor pada masing-masing kumpulan eksitasi dan pick-up.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembuatan elemen sensor *fluxgate* dengan teknik PCB, maka dapat disimpulkan:

1. Pembuatan elemen *fluxgate* dengan teknik PCB sangat ditentukan oleh desain enjiniringnya.
2. Perakitan elemen PCB menjadi sensor *fluxgate* memerlukan kiat-kiat khusus.

DAFTAR PUSTAKA

- Ando, B., S. Baglio, V. Caruso, V. Sacco, A. Bulsara. (2006). **Multilayer Based Technology to Bulid RTD Fluxgate Magnetometer**. J. Sensor & Transduser Magazine, (S&T e-Digest), 65 pp. 509-514.
- Baschiroto, A., E. Dallago, P. Malcovati, M. Marchesi, G. Venchi. (2004). **Fluxgate Magnetic Sensor in PCB Technology**. IMTC 2004, Como, Italy.
- Baschiroto, A., Dallago, E., Malcovati, P., Marchesi, M. dan Venchi, G. (2006). **Development and Comparative**

Analysis of Fluxgate Magnetic Sensor Structure in PCB Tecnology, IEEE Transaction on Mangetics, 42No. 6 pp. 1670-1680.

- Belloy, E., Gilbert, S.E., Dezuari, O., Sancho, M. dan Gijs, M.A. (2000). **A Hybrid Technology for Miniaturised Inductive Device Applications**. J. Sensor and Actuator, 85, pp 304-309.
- Choi, W.Y., Hwang, J.S. dan Choi, S.O. (2004). **The Microfluxgate Magnetic Sensor Having Closed Magnetic Path**. IEEE Sensors Journal, vol. 4, no. 6, pp. 768- 771.
- Dezuari, O., Belloy, E., E. Scott , Gilbert and Gijs, M.A.M. (1999). **New Hybrid Technology for Planar Fluxgate Sensor Fabrication**. IEEE Transaction on Magnetics, 35, pp. 2111-2117.
- Dezuari, O., E. Belloy, S.E. Gilbert, M.A.M. Gijs. (2000). **Printed circuit board integrated fluxgate sensor**. Sens. Act., vol. 81, pp. 200-203.
- Djamal, M., dan Setiadi, R.N. (2006). **Pengukuran Medan Magnet Lemah Menggunakan Sensor Magnetik Fluxgate dengan Satu Kumpulan Pick-Up**. Jurnal Proceedings ITB.
- Djamal, M., Yulkifli. (2009). **Fluxgate Sensor and Its Application**. Proc. ICICI-BME, November, 23-25. Bandung.(IEEEExplore, 18 Februari 2010).
- Fan, J., Li, X.P dan Ripka, P. (2006). **Low Power Ortogonal Sensor with Electroplated Ni80Fe20/Cu Wi re**. J. of Applied Physics, 99, pp. 08B3111-08B3113
- Fraden, J. (1996). **Handbook of Modern Sensor**. New York, Springer-Verlag New York, Inc.
- Grueger, H., Gottfried-Gottfried, R. (2000). **CMOS Integrated Two Axes Magnetic Field Sensors-Miniaturized Low Cost System With Large Temperature Range**,

- Fraunhofer Institute for Microelectronic Circuits and Systems IMS**, Preparation, Properties, and Applications of Thin Ferromagnetic Films, pp. 35-38.
- Göpel, W., Hesse, J. dan Zemel, J.N. (1989). **Sensors, A Comprehensive Survey, Magnetic Sensors**. VCH Publishers Inc., Suite.
- Hinnrichsh, C., Stahl, J., Kuchenbrandt, K. dan and Shiling, M. (2001). **Dependence of Sensitivity and noise if Fluxgate Sensors on Racetrack Geometry**. IEEE Trans. Magn., **37** No. 4, 2001, pp. 1983-1985.
- Hwang, J.S., Park, H.S., Shim, D.S., Na, K.W., Choi, W.Y. dan Choi, S.O. (2003). **Electronic Compass Using Two-axis Micro Fluxgate Sensing Element, The 12th International Conference on Solid State Sensors**. Actuator dan Microsystem, Juni 8-12, Boston
- Intechno. (2009). **Sensor Market 2008, Intechno Consulting**. Basle, Switzerland, 05.
- Janosek, M. dan Ripka, P. (2009). **PCB sensors in fluxgate magnetometer with controlled excitation**. Sensor and Actuator A, **151**, pp 141-144
- Kubik, J. (2006a). **PCB Fluxgate Sensors, Doctoral Thesis**. Czech Technical University, Prague.
- Kubik, J., L. Pavel, P. Ripka. (2006). **PCB racetrack Fluxgate Sensor with Improved Temperature Stability**. J. Sensor and Actuator, **130**, pp 184-188.
- Kaluza, F., Gruger, A. dan Gruger, H. (2003). **New and Future Applications of Fluxgate Sensors**. Sensor and Actuator, **106**, pp. 48-51.
- Kawahito, S., Sasaki, Y., Sato, H., Nakamura, T. dan Tadokoro, Y. (1994). **A fluxgate magnetic sensor with micro-solenoids and electroplated permalloy cores**. Sensor and Actuator A, vol. **A43** (1994), pp. 128-134.
- Kawahito, S., Sato, H., Sutoh, M. dan Tadokoro, Y. (1996). **High-resolution microfluxgate sensing elements using closely coupled coil structures**. Sensor and Actuator. A, vol. **54**, pp. 612-617.
- Kawahito, S., Y. Tadokoro. (1996). **High-Performance Micro Fluxgate Magnetics Sensors**. International Conference on Microelectronics ICME, H.R., P. 85-89., 16-17 Januari Bandung, Indonesia
- Kawahito, S., Cerman, A., Aramaki, K. dan Tadokoro, Y. (2003). **A Weak Magnetic Field Measurement System Using Micro-Fluxgate Sensors and Delta-Sigma Interface**. IEEE Trans. On Inst. And Meas., Vol 52, No. 1, pp. 103-110
- Lei, C., Wang, R., Zhou, Y., dan Zhou, Z. (2009). **MEMS micro fluxgate sensors with mutual vertical excitation coils and detection coils**. Microsyst Technol, Technical Paper, pp. 969-972.
- Liu, S. (2006). **Study on the low power consumption racetrack fluxgate**. Sensor and Actuator, **130**, pp. 124-128.
- Meijer, G.C.M., (ed.). (2008). **Smart Sensor System**. John Wiley & Sons, 2008.
- Moldovanu, A., Diaconu, E.D., Moldovanu, E., Macovei, C., Moldovanu, B.O. dan Bayreuther, G.. (2000). **The applicability of Vitrovac 6025 X ribbons for parallelgated configuration sensors**. Sensors and Actuator A, vol. **81**, pp. 193-196.
- Park, H.S., Hwang, J.S., Choi, W.Y. dan Shim, D.K. (2004). **Development of MicroFluxgate Sensors with Electroplated Magnetic Cores for Electronic Compass**. Sensor and Actuator, **114**, pp 224-229.
- Perez, L., Aroca, C., Sánchez, P., López, E dan Sánchez, M.C. (2004). **Planar fluxgate sensor with an**

- electrodeposited amorphous core.** Sensor and Actuator A, vol. **109**, pp. 208-211.
- Ripka, P. (2001a). **Magnetic Sensor and Magnetometers.** Artec House.
- Ripka, P., Kawahito, S., Choi, S.O., Tipek, A. dan Ishida, M. (2001b). **Micro-fluxgate Sensor with Close Core.** Sensor and Actuator, **A 9**. pp. 65-69
- Ripka, P., Choi, S., Tipek, A., Kawahito, S. dan Ishida, M. (2001c). **Pulse Excitation of Micro-Fluxgate Sensors.** IEEE Trans. Mag., vol. **37**, no. 4, pp. 1998-2000.
- Ripka, P. (2003). **Advances in fluxgate Sensor.** J. Sens. and Actuators A, Vol. 106, pp. 8-14.
- Ripka, P. (2008). **Sensors based on bulk soft magnetic materials.** Advances and challenges Journal of Magnetism and Magnetic Materials 320 , pp. 2466–2473.
- Ripka, P., Li, X.P. dan Fan, J. (2009). **Multiwire core fluxgate.** Sensor and Actuator A.
- SELC. (2008). **Penuntun Layanan PCB Purwarupa.** SELC Sumber elektronik, Bandung.
- Tipek, A., O'Donnell, T dan Kubik, J. (2005). **Excitation and Temperature Stability of PCB Fluxgate Sensor.** IEEE Sensors Journal, Vol 5, No. 6, pp. 1264-1270.
- Tipek, A., Ripka, P., O'Donnell, T. dan Kubik, J. (2004). **PCB Technology Used Fluxgate Sensor Construction.** Sensor and Actuator, 115, pp. 286-292.
- Tipek, A., T. O'Donnell, A. Connel, P. McCloskey, S.C. O'Mathuna, (2006). **PCB Fluxgate Current Sensor with Saturable.** Inductor, J. Sensor and Actuator, 132, pp. 21-24.
- Traenkler, H.-R. (1998). **"Zukunftsmark Intelligenteausinstrumentierung"**, Laporan penelitian:"Verteilte intelligente Mikrosysteme fuer den privaten Lebensbereich (VIMP)", Neubiberg, 4 Des. hal. 10-15
- Traenkler, H.-R. **"Core Technologies for Sensor Systems"**, *Proc. Indo nesian German Conference*, Juli 2001, hal. 1-9.
- Traenkler, H.-R., Kanoun, O., Pawelczak, D. (2007). **Evolution of Sensor Elements towards Smart Sensor Systems.** Proc. Internasional Conference on Instrumentation, Communication and Information Technology (*ICICI*) 8-9 Agustus, hal. 1-7.
- Vcelak, J., Petrucha, V. dan Kaspar, P. (2006). **Compact Digital Com pass with PCB Fluxgate Sensors.** IEEE Sensors, Oktober 22-25, EXCO Korea
- Wang, Y., Liu, G., Xiong, Y., Yang J. dan Tian, Y. (2006). **Fabrication of the Three-dimensional Solenoid Type Micra Magnetic Sensor.** J. of Physics: Conference Series, 34, pp 880-884.
- Yulkifli, Suyatno , Rahmondia N. Setiadi Mitra Djamal. (2007a). **Linieritas Tegangan Keluaran Sensor Magnetik Fluxgate Mengguna kan Elemen Sensor Multi-core.** SNBM V, 5 September, Solo-Indonesia. Diterbitkan di Jurnal Sains & Materi Indonesia, BATAN
- Yulkifli, Rahmondia Nanda S. Suyatno, Mitra Djamal. (2007b). **Designing and Making of Fluxgate Sensor with Multi-Core Structure for Measuring of Proximity.** Procd.CSSI 2007, Serpong Tangerang- Indonesia.
- Yulkifli, Rahmondia N. S., Mitra Djamal, Khairurrijal, Deddy Kurniadi. (2007c). **The Influences of Ferromagnetic cores, Pick-up Coil Winding Numbers, and Environmental Temperature to the Output Signal of a Fluxgate Magnetic Sensor.** APS 2007, diterbitkan di *Jurnal IJP*. Vol 18. No. 3.
- Yulkifli, Rahmondia N. S., Zul Azhar, Mitra Djamal, Khairurrijal. (2008).

- Desain Elemen Sensor *Fluxgate* Menggunakan Kumputan Sekunder Ganda Untuk Meningkatkan Resolusi Sensor.** *Prosiding SNF HFI*, Bandung Indonesia
- Yulkifli, Anwar, Z., Djamal, M. 2009a: **Desain Alat Hitung Kecepatan Sudut Berbasis Sensor Mangetik *Fluxgate*.** *J. Sainstek* Vol 1 No 2, pp. 79-90, Indonesia.
- Yulkifli,, Mitra Djamal, Khairurrijal, Deddy Kurniadi, Pavel Ripka: **Demagnetization Factor of a *Fluxgate* Sensor Using Double Pick-up Coils Configurations.** Proc. of The 3rd Asian Physics Symposium (APS) July 22-23, 2009, Bandung, Indonesia.
- Yulkifli, Mitra Djamal, Khairurrijal, Deddy Kurniadi, Pavel Ripka. **The Influence of the Tape-core Layer Number of *Fluxgate* Sensor Using the Double Pick-up Coils to the Demagnetization Factor.** Proc. ICICI-BME, November, 23-25, 2009, Bandung. (*IEEE Xplore*, 18 Februari 2010).
- Zorlu, O. (2008). **Orthogonal *Fluxgate* Type Magnetic Micro sensors with Wide Linier Operation Range.** Dissertation Thesis, EPFL in Ankara, Turquie.