

PEMBUATAN MESIN FRAIS PAPAN ELEKTRONIKDENGAN MENGGUNAKAN PERSONAL KOMPUTERSEBAGAI PENGENDALISISTEM *COMPUTER NUMERICAL CONTROL*

Gustina, Bambang Setyawan

Program Studi D3 Manajemen Informatika

Sekolah Tinggi Teknologi Ilmu Komputer Insan Unggul

Jalan SA Tirtayasa No. 146 Cilegon Banten 42414

Email : tina_siu@yahoo.com

Email : bambang.setyawan@gmail.com

Abstrak

Dalam dunia elektronika, sebuah papan elektronik atau *Printed Circuit Board* (PCB) adalah sebuah bagian terpenting yang akan mewujudkan rancangan elektronik menjadi sebuah wujud nyata. Pembuatan PCB yang umum dilakukan saat ini memerlukan proses yang panjang, rumit serta memakai proses kimia yang cukup berbahaya untuk manusia dan lingkungan. Sebagai alternatif untuk pembuatan PCB adalah dengan memakai mesin pembuat pembuat PCB yang bekerja berdasarkan proses penyayatan atau frais dengan menggunakan kendali sistem *Computer Numerical Control* (CNC). Namun mesin seperti ini mempunyai harga relatif mahal. Dalam penelitian ini dilakukan rancang bangun mesin serupa dengan menggunakan sebuah Personal Computer (PC) sebagai pengendali sistem CNC, sehingga pada akhirnya diharapkan akan menurunkan biaya total mesin.

Sebuah PC dengan bantuan aplikasi desain PCB Eagle difungsikan untuk membuat layout jalur PCB yang dibutuhkan. Hasil desain yang dihasilkan, akan dikonversi ke dalam format G-Code. Dengan bantuan aplikasi CNC Mach3, PC akan membaca file G-Code tersebut dan menerjemahkan menjadi sinyal clock dan direction. Sebuah mikrokontroler pada rangkaian antarmuka membaca sinyal tersebut melalui port Printer dan menerjemahkan kembali menjadi sinyal kendali untuk memutar motor stepper. Setiap motor stepper membuat pisau potong yang berputar, bergerak pada sebuah sumbu. Diperlukan tiga buah motor stepper untuk membuat gerakan pada tiga arah sumbu.

Dari hasil pengujian didapatkan data bahwa mesin dapat bekerja untuk membuat sebuah PCB dengan ukuran maksimum 100 x 200 mm. Pembuatan lubang kaki komponen dapat langsung dilakukan setelah mengganti pisau potong menjadi mata bor PCB berdiameter 1 mm. Penulisan program G-Code secara manual harus dilakukan untuk melakukan pemotongan akhir PCB sesuai ukuran yang diinginkan.

Kata Kunci:*Mesin Frais CNC, Printed Circuit Board (PCB), Personal Komputer, Computer Numerical Control (CNC).*

1. Pendahuluan

Papan elektronik atau Printed Circuit Board (PCB) adalah komponen terpenting untuk membuat sebuah rancangan rangkaian elektronika menjadi sebuah wujud nyata. Sayangnya, pembuatan PCB membutuhkan proses yang panjang, rumit dan berhubungan dengan bahan kimia berbahaya feri klorida (FeCl_3), yang terbukti berbahaya untuk manusia, peralatan dan lingkungan. Perlu dirancang dan dibuat sebuah mesin frais pembuat PCB yang dapat bekerja secara otomatis dengan sistem CNC. Sistem ini memungkinkan proses menjadi lebih singkat dan sederhana. Selain itu, mesin yang menggunakan proses frais atau penyayatan, menyebabkan penggunaan bahan kimia berbahaya dapat dihindarkan.

Mesin-mesin frais CNC yang ada sekarang, kebanyakan adalah mesin dengan menggunakan kontrol CNC khusus buatan pabrik seperti Siemens, Fanuc, Allen Bradley, Heidenhein. Sistem ini menjanjikan tingkat ketelitian, keakuratan dan kehandalan yang tinggi. Selain itu, dengan dukungan jaringan distributor yang luas, ketersediaan spare part menjadi hal yang mudah. Tetapi tentunya semua peralatan tersebut mempunyai kekurangan utama, yaitu masalah harga. Harga yang sangat tinggi menyebabkan mesin CNC sulit diterapkan pada industri kecil atau skala rumahan.

Personal Komputer (PC), sebagai sebuah peralatan yang terdapat pada setiap rumah dan mempunyai harga yang mulai terjangkau, ternyata mempunyai kemampuan untuk menjadi pengendali sebuah sistem CNC. Dengan menambahkan beberapa rangkaian interface, serta tambahan software, sebuah PC dapat difungsikan sebagai pengendali sistem CNC pada mesin frais pembuat PCB. Tetapi untuk mewujudkan ini, diperlukan proses yang tidak sedikit. Pembuatan mekanik mesin adalah bagian yang paling membutuhkan keahlian tinggi dan waktu yang tidak sedikit. Pembuatan rangkaian interface dan rangkaian kontrol motor juga membutuhkan keahlian dalam bidang elektronika. Langkah terakhir, pemasangan, penyetingan dan pengoperasian software membutuhkan keahlian dalam bidang komputer, baik software maupun hardware. Berdasarkan latar belakang di atas, dimana diharapkan proses pembuatan PCB dapat menjadi lebih singkat, mudah dan murah, serta bebas dari pemakaian bahan kimia berbahaya.

2. Landasan Teori

2.1 Papan Elektronik (PCB)

Kehidupan manusia saat ini hampir bisa dikatakan tidak akan berjalan normal tanpa adanya listrik. Hampir semua peralatan yang dipakai manusia, baik di rumah maupun di tempat umum adalah peralatan yang memakai daya listrik. Telepon genggam, komputer, televisi, radio merupakan peralatan yang umum dipakai oleh manusia.



Gambar 1. PCB pada Telepon Genggam

Apabila dibuka, maka akan ditemukan komponen-komponen elektronik yang berfungsi sebagai pengendali peralatan tersebut. Komponen ini terpasang secara rapi pada sebuah papan/*board*. Papan inilah yang disebut sebagai Papan Elektronik atau *Printed Circuit Board* atau PCB. Jadi yang disebut PCB adalah papan tempat meletakkan komponen elektronik dan memberikan sambungan listrik antar kaki komponen melalui jalur konduktor di permukaannya. Jalur konduktor biasanya terbuat dari tembaga, dan karena seolah tercetak di permukaan papan, maka muncullah istilah “*Printed*”. Papan itu sendiri terbuat dari bahan isolator.

2.2 Mesin

Mesin yang merupakan suatu peralatan yang terdiri dari satu atau lebih bagian, yang mengubah energi menjadi suatu aksi tertentu. Pada proses pemotongan logam, mesin digunakan untuk mengubah bentuk suatu benda dari logam dengan cara memotong.

Berdasarkan pada cara pemotongannya, proses pemotongan logam dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok dasar, yaitu:

1. Proses pemotongan dengan mesin las.
2. Proses pemotongan dengan mesin tekan.
3. Proses pemotongan dengan mesin perkakas.
4. Proses pemotongan non-konvensional (*Electric Discharge Machining, Laser Beam Machining, Chemical Milling, dsb*).

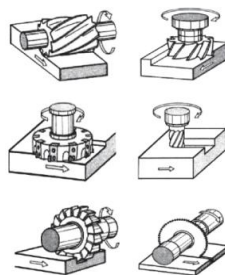
Pada kelompok nomor tiga, mesin perkakas menggunakan prinsip penyayatan logam dengan menggunakan material lain yang lebih keras. Dilihat dari jenisnya, mesin perkakas terbagi menjadi:

1. Mesin Bor
2. Mesin Bubut
3. Mesin Gergaji
4. Mesin Sekrap
5. Mesin Frais
6. Mesin Gerinda

Penelitian ini hanya akan membahas lebih lanjut untuk mesin Frais.

2.3 Mesin Frais

Mesin frais adalah salah satu mesin perkakas yang mempunyai fungsi dasar adalah untuk membuat permukaan datar pada benda kerja. Dalam proses kerja penyayatan benda kerja, mesin ini menggunakan pisau potong bermata banyak yang berputar. Pada saat alat potong berputar, gigi-gigi potongnya menyentuh permukaan benda kerja sehingga terjadi penyayatan dengan kedalaman sesuai penyetingan.



Gambar 2. Pisau potong pada mesin frais

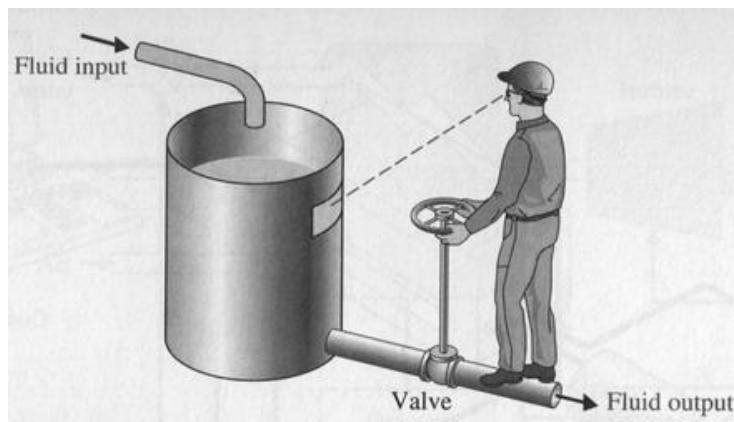
2.4 Personal Komputer

Personal Komputer adalah komputer untuk keperluan umum, dimana ukuran, kemampuan dan harganya sesuai dengan penggunaan individu, serta dapat dioperasikan secara langsung oleh end-user tanpa interferensi operator komputer. Hal ini berbeda dengan apabila dibandingkan dengan sistem *mainframe* yang digunakan oleh banyak orang pada saat bersamaan. Pengoperasian membutuhkan petugas yang mengoperasikan sistem secara penuh.

Aplikasi yang terdapat pada personal komputer biasanya adalah berhubungan dengan *Game*, *Multimedia*, *Web Browser*, *Email*, *Word Processing*, *Spreadsheet* dan *Pengolahan Grafik*. Personal komputer modern sering mempunyai koneksi ke LAN, baik dengan kabel atau dengan *Wireless*. Secara bentuk, sebuah personal komputer bisa berupa *Komputer Desktop*, *Laptop*, *Netbook*, *Tablet* ataupun *Handheld PC (Palmtop)*.

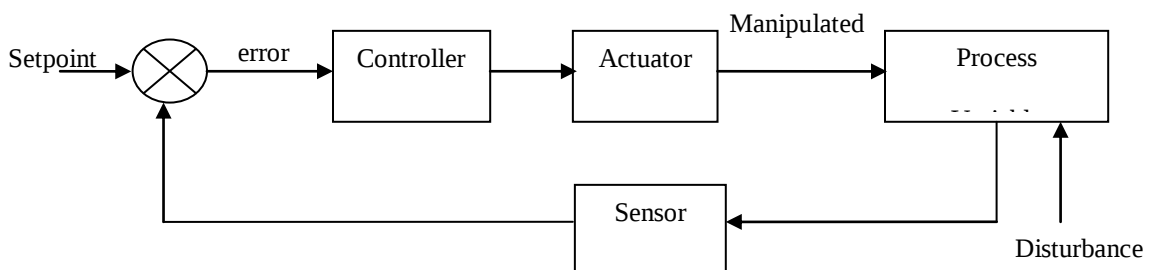
2.5 Pengendalian

Pengendalian adalah suatu tindakan untuk mempertahankan suatu nilai sesuai keinginan, dengan cara mengubah suatu elemen yang akan mempengaruhi nilai tersebut. Sebuah tangki diisi melalui sebuah saluran dengan laju pengisian yang berubah-ubah. Seorang operator bertugas untuk menjaga ketinggian air dalam tangki dengan cara mengatur pembukaan katup pembuangan. Saat laju pengisian bertambah, ketinggian air tangki akan bertambah. Operator membuka katup pembuangan lebih lebar sehingga ketinggian air tangki akan kembali turun. Pada saat ketinggian air tangki sama dengan ketinggian yang diinginkan, operator menutup secara perlahan katup pembuangan. Kebalikannya, saat laju pengisian berkurang, ketinggian air tangki akan berkurang. Operator menutup secara perlahan katup pembuangan sampai dengan laju air keluar lebih kecil dari laju air masuk. Hal ini menyebabkan ketinggian air tangki naik kembali. Operator akan membuka perlahan katup pembuangan saat ketinggian air tangki sama dengan ketinggian yang diinginkan.



Gambar 3. Pengendalian manual

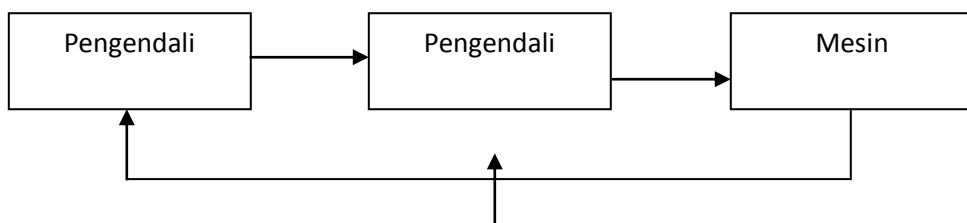
Pada kasus di atas, operator melakukan pengendalian ketinggian air dalam tangki dengan cara mengatur pembukaan katup pembuangan air. Proses yang terjadi diawali dengan operator mengamati ketinggian air dalam tangki. Ketinggian yang didapat akan dibandingkan dengan ketinggian yang diinginkan. Selisih keduanya akan menghasilkan *error*. Berdasarkan *error* tersebut, operator mengambil keputusan untuk membuka atau menutup katup. Posisi buka katup akan mengubah jumlah air yang keluar dari dalam tangki, sehingga pada akhirnya mempengaruhi ketinggian air dalam tangki. Proses akan berulang terus sampai dengan ketinggian air sesuai dengan ketinggian yang diinginkan. Apabila ketinggian air disebut sebagai *Process Variable*, ketinggian yang diinginkan adalah *Setpoint*, mata operator disebut sebagai *Sensor*, operator sendiri disebut sebagai *Controller*, katup disebut sebagai *Actuator*, besarnya air keluar disebut sebagai *Manipulated Variable*, dan perubahan besarnya air masuk disebut sebagai *Disturbance*, maka akan terbentuk diagram pengendalian seperti di bawah:



Gambar 4. Diagram Pengendalian

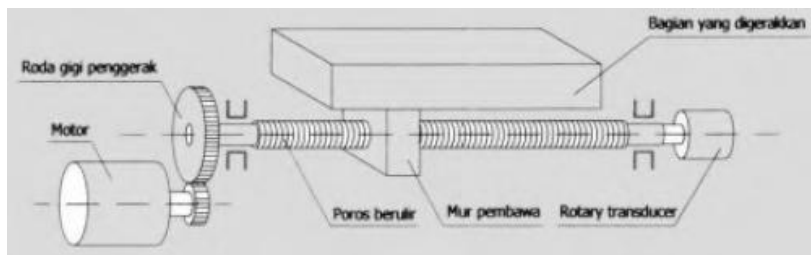
2.6 Sistem CNC

Pengertian sistem menurut Al Fatta (2007:3) "Sekumpulan objek-objek yang saling berelasi dan berinteraksi serta hubungan antar objek bisa dilihat sebagai satu kesatuan yang dirancang untuk mencapai satu tujuan." Di sini terlihat bahwa sistem sebenarnya dibentuk dari obyek-obyek. Setiap obyek bisa berbentuk obyek dasar atau sistem juga, yang disebut sebagai sub sistem. CNC adalah kependekan dari *Computer Numerical Control*. Merupakan sistem otomatisasi mesin perkakas, sehingga dapat menghasilkan gerakan yang sesuai dengan program. Seperti dijelaskan pada pengertian sistem, sistem CNC terdiri dari beberapa obyek yang berupa perangkat keras, yang saling berhubungan dengan tujuan untuk pengaturan gerak mesin perkakas.



Gambar 5. Sistem CNC

Pengendali NC, berdasarkan program yang sedang dijalankan akan memberikan perintah kepada Pengendali Motor untuk menggerakkan motor. Motor melalui sistem transmisi mekanis, akan menggerakkan meja kerja atau spindle pada mesin perkakas. Sebuah sensor dipasang untuk mengetahui posisi dari meja kerja. Sensor ini akan memberikan umpan balik kepada Pengendali NC, yang akan memberikan perintah lanjutan kepada Pengendali Motor. Disaat yang bersamaan, nilai dari sensor juga dipakai oleh Pengendali Motor untuk mengatur kecepatan putar motor penggerak. Dengan sistem seperti ini, maka sistem CNC akan menghasilkan pergerakan sumbu pada mesin perkakas yang dapat diatur secara teliti.



Gambar 6. Mekanisme gerak meja kerja

2.7 Mesin Frais CNC

Mesin frais CNC adalah mesin frais yang dikendalikan oleh sistem CNC. Secara umum, mesin CNC tidak berbeda dengan mesin frais konvensional. Fungsi CNC dalam hal ini lebih banyak menggantikan pekerjaan operator dalam mesin frais konvensional.

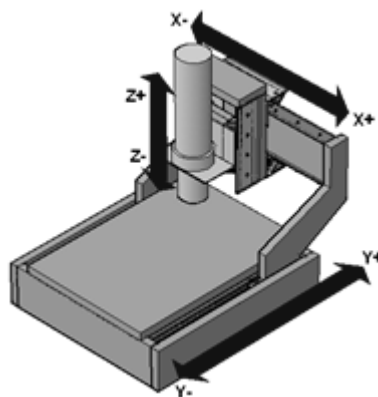
Mesin frais CNC mempunyai kemampuan yang lebih tinggi dari pada mesin frais konvensional khususnya dalam hal ketelitian, ketepatan dan produktivitas, serta kompleksitas pekerjaan yang dapat ditangani. Ketelitian yang tinggi mempunyai makna bahwa produk dengan kesalahan kecil, ukuran yang cermat serta daerah toleransi geometri yang sempit dapat dibuat lebih mudah pada mesin frais CNC. Hal ini disebabkan oleh tiga hal utama, yaitu:

1. Konstruksi mesin frais CNC secara umum lebih baik, dengan pemakaian elemen pembimbing dan penggerak yang teliti. Misalnya pemakaian elemen penggerak *ball screw* sebagai ganti poros ulir trapesium akan mengurangi gesekan, memperlancar gerakan dan mempermudah pengontrolan gerakan. Hal ini berkaitan dengan percepatan, perlambatan dan berhenti pada posisi yang pasti. Penggunaan sistem hidrostatik atau aerostatik juga akan menghasilkan efek yang sama.
2. Pemakaian sistem pendeteksi posisi yang teliti. Sensor ukur berupa *encoder* dapat memberikan informasi kepada pengendali CNC tentang lokasi pisau potong secara pasti.
3. Kompensasi kesalahan posisi karena kesalahan kumulatif maupun kesalahan gerak balik (*backlash*) pada elemen penggerak dapat dilakukan dengan cara memasukkan nilai penyimpangan pada pengendali CNC. Setiap kali elemen mesin bergerak melewati posisi yang telah ditetapkan secara otomatis pengendali akan melakukan koreksi.

3. Metodologi Penelitian

3.1 Obyek Riset

Mesin frais PCB sebagai obyek penelitian yang dilakukan, merupakan sebuah alat bantu dalam pembuatan PCB. Prinsip dasar mesin adalah penyayatan lapisan tembaga pada PCB sehingga akan terbentuk jalur-jalur sesuai dengan desain yang dibuat sebelumnya. Setelah jalur terbentuk, dilakukan proses kedua yaitu pembuatan lubang-lubang komponen elektronik. Struktur gerak mesin disusun dari rangkaian komponen mekanis yang memungkinkan sebuah pisau potong untuk bergerak ke arah tiga sumbu, yaitu sumbu X, Y dan Z, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1 dibawah.

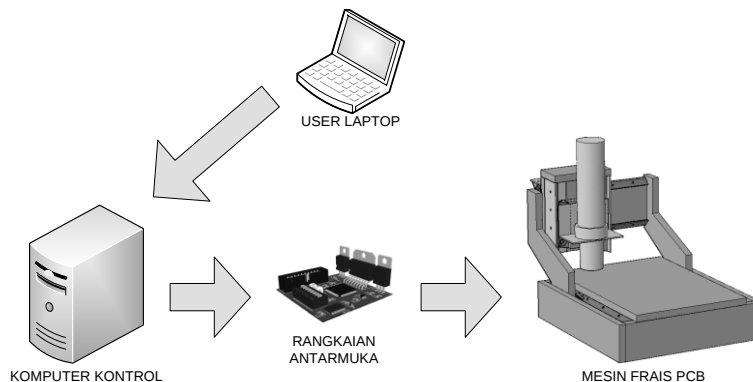


Gambar 7. Sumbu Mesin

Saat bekerja, pisau potong dalam keadaan berputar dan terpasang pada sebuah motor *spindle*. Pergerakan mekanis ke arah tiga sumbu serta perputaran *spindle*, digerakkan oleh tiga buah motor stepper dan satu buah motor DC. Sebagai pengontrol gerakan motor, digunakan perangkat lunak pada sebuah personal komputer. Di antara komputer dan mesin, terdapat sebuah perangkat elektronik yang berfungsi sebagai perangkat antarmuka, sehingga sinyal dari komputer dapat menggerakkan motor-motor di atas. Perangkat ini menggunakan Port Printer (LPT) sebagai titik hubung fisik.

Persiapan proses pembuatan PCB dimulai dengan perancangan desain PCB dengan menggunakan Eagle. Proses dilanjutkan dengan konversi desain PCB menjadi kode standard CNC yaitu G-Code. Konversi dilakukan dengan penjalanan User Language Program (ULP) di dalam Eagle. Listing G-Code inilah yang akan dibaca oleh Mach3,

sebagai perangkat lunak penggerak mesin. Secara garis besar, proses keseluruhan mesin terlihat pada diagram berikut:



Gambar 8. Diagram Pengoperasian Mesin

3.2 Analisa Kebutuhan

Salah satu hal yang dipertimbangkan penulis dalam pembuatan mesin frais PCB adalah pemakai mesin. Para praktikan elektronika dan industri kecil adalah sasaran pembuatan mesin. Tidak hanya sebagai pemakai, tetapi mereka juga diharapkan dapat membuat sendiri mesin tersebut. Tentunya hal ini menjadi pertimbangan utama penulis dalam menentukan desain, material dan peralatan yang dipakai dalam pembuatan mesin. Diusahakan bahwa material yang dipakai adalah material yang mudah didapat dari lingkungan sekitar masyarakat umum, semisalnya toko bangunan. Dalam hal pembuatan, juga diusahakan hanya menggunakan peralatan yang umum digunakan pada tingkat rumahan. Disamping itu, dengan menggunakan komponen dan peralatan yang umum, maka biaya keseluruhan dalam pembuatan mesin dapat ditekan. Berdasarkan pertimbangan di atas, penulis membagi kebutuhan yang diperlukan pada pembuatan mesin frais PCB menjadi:

3.2.1 Kebutuhan Perangkat Keras

Perangkat Keras adalah komponen fisik yang diperlukan untuk membangun konstruksi mesin. Secara garis besar, komponen ini dikelompokkan menjadi tiga bagian besar, yaitu:

3.2.1.1 Komponen Mekanis

Komponen ini mempunyai fungsi utama adalah membentuk struktur dari mesin. Komponen mekanis ini terdiri dari:

Tabel 1. Komponen bagian Mekanis

Komponen	Jumlah
Papan Partikel 15 mm	1 lembar
Besi siku galvanis 20 mm	1 batang
Besi siku 50 mm	1 batang
Baut dan Mur 4 mm	24
Sekrup M4	60
<i>Ball Bearing</i> , OD:19 mm, ID:6 mm	24
Ulir 6 mm, <i>pitch</i> : 1.2 mm	1 meter
Mur 6 mm	3

3.2.1.2 Komponen Listrik dan Elektronik

Komponen listrik berupa motor, bertugas untuk menggerakkan motor, sehingga secara keseluruhan, komponen listrik dan elektronik mesin terdiri dari:

Tabel 2. Komponen bagian Listrik dan Elektronik

Komponen	Jumlah
Motor Stepper unipolar, 4 wires, 12V 0.5A	4
Motor DC 12V 1A	1
Trafo 220V-12V 3A	1
IC regulator 7805	1
IC 555	1
IC mikrokontroler AT89S52	1
IC ULN2004	3
Dioda Bridge 3A	1
LED Merah	1
LED Hijau	1
Kapasitor 4700 uF/50V	1
Kapasitor 100 uF/50V	1
Kapasitor 10 uF/50V	1
Kapasitor 100 nF	1
Kapasitor 10 nF	1
Resistor 330 0.5W	1

Resistor 1k 0.5W	2
Resistor 10k 0.25W	19
Trimpot 20k	1

3.2.1.3 Komponen Komputer Kontrol

Komputer adalah otak dari mesin frais PCB. Di tempat inilah design PCB dalam format G-Code akan diterjemahkan menjadi sinyal gerak motor yang akan diumpankan kepada komponen Listrik dan Elektronik. Spesifikasi minimum yang dibutuhkan untuk sebuah komputer kontrol adalah:

Tabel 3. Spesifikasi minimum Komputer Kontrol

Bagian	Spesifikasi
CPU speed	1 GHz
RAM	256 MB
Hard disk	20 GB
Sistem I/O	LPT
Power Supply	300 W

3.2.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

Cara mesin frais PCB ini bekerja adalah murni dikendalikan oleh perangkat lunak yang terpasang di dalam sebuah Komputer Kontrol. Beberapa Komputer Kontrol juga diperlukan untuk menjalankan fungsi secara keseluruhan dalam proses pembuatan PCB. Perangkat lunak yang sudah harus terpasang pada komputer kontrol, yang berfungsi untuk mengoperasikan mesin sebagai mesin frais PCB adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Kebutuhan Perangkat Lunak Komputer Kontrol

Perangkat Lunak	Fungsi
Microsoft Windows XP SP2	Sistem Operasi
Artsoft Mach3	Kontrol CNC
CadSoft Eagle PCB Design	Desain layout PCB
PCB-GCode	Konverter PCB ke G-Code

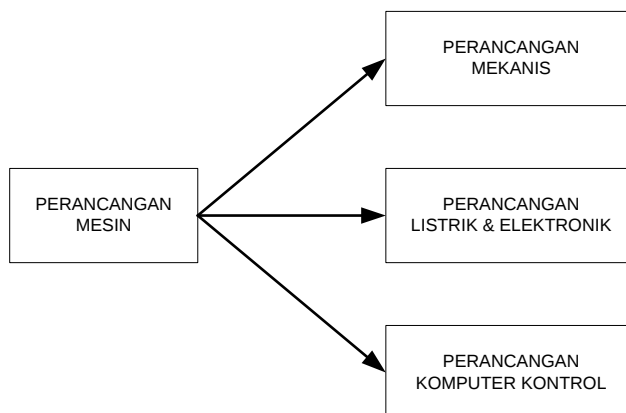
Sedangkan dalam proses pembuatan mesin, diperlukan beberapa perangkat lunak tambahan, diantaranya:

Tabel 5. Kebutuhan Perangkat Lunak Tambahan

Perangkat Lunak	Fungsi
Keil uVision C51	Penulisan dan simulasi program mikrokontroler
DT HiQ Programmer	Download program ke mikrokontroler

3.3 Perancangan

Sistem mesin secara keseluruhan terbentuk dari beberapa bagian-bagian dasar. Karena itu untuk mempermudah perancangan mesin, maka diperlukan pengelompokan perancangan berdasarkan bagian-bagian tersebut:



Gambar 9. Diagram Perancangan

3.3.1 Perancangan Mekanis

Pada perancangan bagian mekanis, digunakan alat bantu berupa perangkat lunak, yaitu AutoCAD 2010. Konsep awal berupa sketsa tangan, ditransfer dengan menggambar di AutoCAD menjadi gambar dua dimensi. Selanjutnya gambar dua dimensi diubah menjadi gambar tiga dimensi, sehingga bentuk mesin terlihat dan apabila ada kesalahan ukuran yang menyebabkan dua bagian saling berbenturan, dapat langsung diketahui dan direvisi. Struktur mekanis mesin sendiri, juga terdiri dari blok-blok. Proses perancangan dan penggambaran dilakukan secara bertahap, sesuai dengan blok tersebut, yaitu :

1. Bantalan luncur

Perancangan ditentukan dengan memakai tipe besi siku dan ball bearing. Empat buah *ball bearing* dipasang pada sebuah besi siku, untuk selanjutnya unit luncur ini ditempatkan pada bagian mesin yang bergerak.



Gambar 10. Unit rail

Unit luncur akan bergerak pada besi siku lain, yang terpasang pada bagian mesin yang diam. Karena berfungsi sebagai rail dimana unit luncur bergerak, maka besi siku ini akan disebut sebagai unit rail.

2. Spindle

Spindle adalah bagian inti dari mesin. Pada spindle inilah terpasang pisau potong, yang melakukan proses pembuatan PCB, yaitu dengan menyayat lapisan tembaga pada PCB. Untuk bagian spindle ini, penulis memilih menggunakan unit bor PCB yang dijual pada toko elektronika. Unit ini sudah memiliki bagian pencekam mata bor, sehingga akan mempermudah dalam penggantian tool dari pisau potong menjadi mata bor.

3.3.2 Perancangan Listrik dan Elektronik

Apabila keseluruhan konstruksi mekanis mesin selesai dibuat, langkah selanjutnya harus dilakukan pengetesan gerak di semua sumbu. Sampai dengan saat ini, pengetesan hanya bisa dilakukan dengan cara memutar secara manual pada poros motor. Karena cara penggerakkan motor stepper berbeda dengan motor DC, pengujian gerak motor hanya bisa dilakukan dengan membuat rangkaian elektronik penguji. Apabila pengujian gerak berhasil, rangkaian uji ini nantinya akan dimodifikasi untuk menjadi rangkaian antarmuka dengan komputer.

3.3.3 Perancangan Komputer Kontrol

Mesin frais PCB menggunakan sebuah unit Personal Komputer yang didedikasikan penuh hanya sebagai pengendali mesin. Komputer ini akan disebut sebagai Komputer Kontrol. Pengguna yang akan mengoperasikan mesin, menggunakan fasilitas Remote Desktop melalui komputer lain dan terhubung melalui LAN.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil

Berdasarkan usulan serta perancangan yang dibuat, maka setelah dilakukan pembuatan setiap bagian mesin dan perakitan sistem, sebuah mesin frais PCB akhirnya dapat diselesaikan dan menjalani pengetesan fungsi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1 dibawah



Gambar 11. Mesin Frais PCB

Pembuatan dan perakitan mesin secara keseluruhan melalui beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut :

4.1.1 Bagian Mekanis

Pembuatan dan perakitan bagian mekanik adalah bagian yang cukup vital, karena akan menentukan fungsi kerja dan kepresisian mesin secara keseluruhan. Hasil akhir perakitan bagian mekanis, setelah dilakukan pengukuran dan penyetingan akhir, seperti table 4.1 dibawah.

Tabel 6. Spesifikasi Mekanis

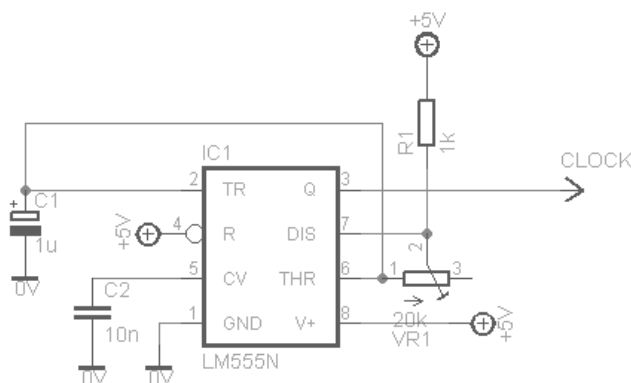
PENGUKURAN	NILAI
Panjang	485 mm
Lebar	350 mm
Tinggi	400 mm
Sudut X+ terhadap Y+	89°
Sudut Z+ terhadap Y+	91°
Sudut Z+ terhadap X+	90°
Area kerja maksimum	121 mm x 222 mm
Kesejajaran Xmax, Ymin terhadap 0,0	-0.050 mm
Kesejajaran Xmax, Ymax terhadap 0,0	+0.025 mm
Kesejajaran Xmin, Ymax terhadap 0,0	+0.075 mm
Pelenturan di sumbu X	±0.05 mm
Pelenturan di sumbu Y	±0.03 mm
Pelenturan di sumbu Z	±0.01 mm

Dari tabel spesifikasi mekanis di atas, didapatkan kesimpulan bahwa terjadi area kerja mampu untuk memenuhi pembuatan potongan PCB dengan ukuran standard 100 mm x 200 mm, tetapi mempunyai penyimpangan dimensional baik dari faktor kesikuan, kesejajaran maupun pelenturan. Tetapi dengan pertimbangan bahwa mesin diperuntukkan untuk pengerjaan PCB, dimana faktor kesikuan dengan selisih 1° tidak akan mempengaruhi fungsi PCB, maka penyimpangan kesikuan dapat ditoleransi. Sedangkan

faktor kesejajaran harus dijadikan perhatian, terutama pada saat meletakkan papan PCB harus mendapatkan ganjalan dengan sehelai kertas sepanjang sumbu X bagian bawah ($Y=0$). Penyimpangan ini sebenarnya bisa diatasi apabila digunakan nilai penyayatan papan PCB di atas 0.1 mm, tidak akan mempengaruhi fungsi, hanya akan mempengaruhi perbedaan kedalaman penyayatan di papan PCB. Sedangkan pelenturan adalah hal yang tidak bisa dihindarkan karena pemakaian papan partikel sebagai konstruksi mesin. Hal ini bisa dikompensasi dengan menggunakan motor spindle daya besar, sehingga tidak diperlukan gaya yang terlalu besar pada penggerakan sumbu. Dari penjelasan di atas maka secara umum, rakitan mekanis yang telah terbentuk, dapat dipakai sebagai mekanisme gerak mesin frais PCB.

4.1.2 Bagian Listrik dan Elektronik

Rangkaian elektronik dibuat dengan memasang komponen pada papan percobaan. Rangkaian ini berfungsi untuk mengatur gerakan motor stepper berdasarkan sinyal dari komputer. Hasil akhir pada bagian ini adalah dilakukan pengujian dengan membuat rangkaian uji yang bertujuan untuk mengetahui apakah motor stepper yang digunakan mampu untuk memutar batang ulir serta menggerakan komponen dinamik di setiap sumbu. Selain itu pengetesan juga dilakukan untuk mendapatkan nilai kecepatan maksimum yang bisa dicapai oleh motor stepper.



Gambar 12. Rangkaian Uji

Dari hasil pengujian, didapatkan hasil bahwa motor stepper mampu untuk menggerakan komponen dinamik di setiap sumbu dengan kecepatan gerak maksimum

adalah 220 mm/menit. Untuk mendapatkan nilai ini, beberapa langkah harus dilakukan terlebih dahulu.

Langkah mendapatkan kecepatan gerak maksimum adalah dimulai dari pencarian jumlah *clock* yang diperlukan motor stepper untuk memutar rotor sejauh 360° atau satu putaran penuh. Rangkaian uji diseting untuk menghasilkan *clock* paling rendah sekitar 2 Hz dan diumpankan kepada rangkaian motor. Setiap 1 detik motor akan mendapatkan dua ketukan sehingga rotor akan berputar pada posisi tertentu. Berdasarkan tanda yang diberikan pada rotor, ternyata rotor akan kembali pada posisi semula setelah mendapatkan 200 ketukan. Hal ini berarti rotor motor stepper akan berputar satu putaran penuh setelah mendapatkan ketukan sebanyak 200 ketukan.

Langkah selanjutnya adalah menaikkan frekuensi ketukan, sampai dengan motor stepper tidak mampu lagi menerima ketukan, yaitu saat rotor mulai stall atau putarannya menjadi tersendat bahkan berhenti ketika frekuensi ketukan dinaikkan. Dari hasil pengujian yang dilakukan, didapatkan bahwa pada frekuensi 600 Hz, rotor mulai stall. Hal ini berarti kecepatan putar maksimum rotor stepper adalah sebesar frekuensi maksimum dibagi jumlah ketukan setiap satu putaran. Sehingga didapatkanlah nilai kecepatan maksimum rotor motor stepper adalah sebesar 3 RPS (Rotation per Second).

Dari nilai kecepatan maksimum di atas akan bisa diturunkan untuk mendapatkan kecepatan gerak linear yang terbentuk saat motor dihubungkan dengan batang ulir. Satu nilai yang harus diukur terlebih dahulu adalah jarak pitch atau jarak antar puncak sebuah ulir ke puncak ulir berikutnya. Dari hasil pengukuran batang ulir, didapatkan jarak *pitch* adalah sebesar 1.24 mm.

4.1.3 Bagian Komputer

Apabila mikrokontroler adalah otak dari rangkaian antar muka dan pengendali motor stepper, maka otak dari keseluruhan sistem mesin frais PCB ini dikendalikan oleh sebuah Komputer. Hal yang dilakukan pada bagian ini adalah :

1. Perakitan perangkat keras
2. Instalasi perangkat lunak (system operasi, cadSoft Eagle Profesional, Java, Mach3, PCB-GCode, Acronis True Image)

Setelah dilakukan perakitan perangkat keras mesin dan instalasi perangkat lunak, maka tahap selanjutnya dari bagian Komputer adalah pengetesan Komputer Kontrol untuk mengontrol gerakan mesin. Tahap ini dilakukan dengan menghubungkan input rangkaian antar muka ke Komputer Kontrol melalui port Printer. Pengetesan dilakukan dengan menjalankan aplikasi Mach3. Mode JOG dilakukan dengan menekan keempat tombol arrow pada keyboard untuk sumbu X dan Y, serta PgUp-PgDown untuk sumbu Z. Berikut adalah tabel fungsi tombol pada keyboard serta gerakan yang harus terjadi:

Tabel 7. Gerakan spindle

Tombol	Gerakan
Left	X-
Right	X+
Down	Y-
Up	Y+
Page Down	Z-
Page Up	Z+

Dari pengetesan yang dilakukan, rakitan mesin yang sudah dibuat terdahulu mampu untuk berjalan normal pada ke tiga buah sumbu di atas.

4.2 Pembahasan

Langkah penggunaan perangkat lunak yang ada untuk pengoperasian mesin untuk melakukan proses frais pada papan PCB adalah sebagai berikut :

1. Remote Desktop.

Komputer Kontrol hanya berupa CPU saja tanpa perangkat Input Output, karena itu untuk mengoperasikan mesin bisa dilakukan dengan menambahkan mouse, keyboard serta layar monitor, atau dengan melalui sesi Remote Desktop dari komputer lain.

2. Pembuatan layout PCB

Dalam proses pembuatan PCB tentunya adalah pembuatan desain layout PCB. Untuk desain dari nol, maka proses harus dimulai dengan pembuatan skematik rangkaian

yang akan dibuat. Pembuatan skematik ini dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi Eagle Schematic

3. Konversi ke G-Code

Layout komponen dan jalur yang sudah terbentuk, siap untuk diproses lebih lanjut dengan melakukan konversi ke bahasa G-Code, Proses konversi akan menghasilkan dua buah file dengan tipe tap. File etch berisi GCode untuk proses frais PCB.

4. Pemasangan pisau potong pada *spindle*

Pemasangan pisau potong pada cekam spindle harus diusahakan sedalam mungkin, sehingga mata bor yang keluar hanya sekitar 2 mm. Apabila mata bor terlalu panjang keluar, kemungkinan mata bor untuk patah menjadi besar sangat pengoperasian.

5. Pemasangan papan PCB

Proses pemasangan papan PCB pada papan utama mesin.

6. Proses frais pada papan PCB

Aplikasi pengendali mesin adalah aplikasi Mach3. Aplikasi ini akan meminta koordinat terhadap proses frais yang akan dilakukan pada papan PCB.

7. Proses pengeboran papan PCB

Proses pembuatan lubang kaki komponen pada PCB dapat langsung dilakukan pada mesin frais PCB.

5. Kesimpulan

Dari hasil perancangan, pembuatan, perakitan dan uji coba Mesin Frais PCB yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan pembuatan Mesin Frais PCB dapat diwujudkan dengan cara mengadopsi sistem kerja dari Mesin Frais CNC di industri.
2. Kepresisian dalam pemotongan bahan merupakan kunci untuk mendapatkan fungsi mesin yang optimum.
3. Penggunaan mikrokontroler dalam rangkaian antarmuka (interface) akan sangat meningkatkan kemampuan dan fungsi rangkaian tersebut, dikarenakan sifatnya yang programmable.
4. Dengan menambahkan aplikasi pengendali CNC, sebuah Personal Komputer ternyata mampu untuk mengendalikan sebuah sistem CNC dengan kepresisian yang sangat

tinggi. Apabila ditambahkan aplikasi perancangan PCB, maka keseluruhan proses pembuatan PCB dari awal sampai akhir bisa sekaligus dilakukan hanya pada Personal Komputer tersebut.

Dari beberapa kesimpulan di atas, maka dapat ditunjukkan bahwa pembuatan Mesin Frais PCB dengan sistem CNC adalah sangat dimungkin untuk diwujudkan hanya dengan menggunakan bahan-bahan yang umum dan dengan peralatan kerja rumahan. Dengan terwujudnya mesin ini, maka pemakaian bahan kimia berbahaya dapat dihilangkan dan tentunya proses pembuatan PCB akan menjadi lebih singkat, mudah dan murah.

6. Daftar Pustaka

- Al Fatta, Hanif. 2007. *Analisis dan Perancangan Sistem Informasi untuk Keunggulan Bersaing Perusahaan dan Organisasi Modern*. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- Hafid, Abdul. 2008. "Uji Awal Upgrade Mesin Frais Konvensional Menjadi Mesin Frais CNC Berbasis PC". *Sigma Epsilon ISSN 0853-9103*.12(1), 22.
- Jones, Jason. 2011. "Printed Circuit Boards by Selective Deposition and Processing". *Journal of Materials Processing Technology*.50(1), 1.
- Pradana, Dity. 2011. "Rancang Bangun CNC Milling Machine Home Made untuk Membuat PCB". *Teknologi Elektro*. 10(1), 1.
- Salamah, Hassam. 2010. PCB CNC Machine. An-Najah National University: Laporan Diterbitkan.
- Setyawan, Bambang. 2014. Pengendalian Mesin Frais dengan Menggunakan Sistem Computer Numerical Control di PT Siemens Indonesia. Sekolah Tinggi Teknologi Ilmu Komputer Insan Unggul: Laporan Tidak Diterbitkan.
- Shinsky, F. Greg. 1988. *Process Control Systems*. Singapura: McGraw-Hill Book Co.
- Sumbodo, Wirawan. 2008. *Teknik Produksi Mesin Industri untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Suraini, Nur. 2012. Design of Mini CNC Machine. Universiti Malaysia Pahang: Tesis Diterbitkan.
- Widarto. 2008. *Teknik Pemesinan untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.