

FEASIBILITY STUDY IMPLEMENTASI AUTOPILOT RISC BERBASIS ARSITEKTUR ARM SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI AUTOPILOT BERBASIS ARSITEKTUR AVR

Fuad Surastyo, Adi Wirawan
Pusat Teknologi Penerbangan LAPAN
Pos El:fuad.pranoto@lapan.go.id, adi.wirawan@lapan.go.id

Abstrak

Sebagai lembaga penelitian di bidang penerbangan dan keantariksaan, LAPAN memiliki beberapa pesawat tanpa awak ukuran kecil. Pesawat tanpa awak ini, atau biasa disebut dengan UAV, dilengkapi dengan kemampuan autopilot agar dapat terbang secara otomatis mengikuti perintah yang telah diprogramkan ke dalam pesawat tersebut sebelum terbang. Saat ini, seluruh autopilot yang diimplementasikan ke dalam UAV LAPAN menggunakan RISC dengan basis arsitektur AVR, dengan produk autopilot yang digunakan adalah Ardupilot. Ardupilot merupakan autopilot yang dikembangkan menggunakan Bahasa Arduino, sehingga untuk dapat memodifikasi Ardupilot harus menguasai Bahasa pemrograman Arduino. Autopilot berbasis arsitektur AVR, memang sudah teruji dan terkenal tangguh, akan tetapi dari segi kemampuan hardware dan perkembangan arsitektur dapat dikatakan terbatas untuk diekspansi. Di lain pihak, ARM merupakan arsitektur yang sedang mengalami perkembangan yang cukup pesat. Arsitektur ARM saat ini digunakan di semua ponsel cerdas berbasis Android. Perkembangan yang terdapat di dalam arsitektur ARM juga diikuti dengan perkembangan Hardware yang digunakan untuk menjalankan arsitektur ARM tersebut, sehingga diharapkan arsitektur dapat bekerja secara efisien. Apakah arsitektur ARM dapat diimplementasikan untuk menggantikan arsitektur AVR dalam handle tugas autopilot untuk dipasang ke dalam UAV LAPAN. Hal inilah yang akan dicoba dikaji secara lebih mendalam di dalam makalah ini. Terdapat tiga hal utama yang akan dibandingkan, yakni kemampuan hardware, ketersediaan produk autopilot berbasis ARM di pasaran, serta kemudahan dalam melakukan modifikasi software. Hasil akhir dari paper ini diharapkan dapat memberikan gambaran awal mengenai kemungkinan atau tidaknya arsitektur ARM diimplementasikan kedalam autopilot untuk dipasangkan ke dalam UAV LAPAN, menggantikan autopilot berbasis arsitektur AVR

Kata kunci: ARM, AVR, RISC, Autopilot

Abstract

As a research institute in the field of aeronautic and space, LAPAN has several small size unmanned aerial vehicle. This unmanned aerial vehicle, or commonly referred to as UAV, is equipped with autopilot capability that able to fly autonomously and follow the preprogrammed commands. Currently, the entire autopilot platforms, which are implemented in LAPAN UAVs, use processor with RISC based architecture, e.g. Ardupilot. Ardupilot is an autopilot that was developed using the Arduino language, so to be able to modify Ardupilot must master the Arduino programming language. Autopilot RISC-based architecture, it has been tested and notoriously tough, but in terms of hardware capabilities and the development of architecture can be said to be limited to be expanded. On the other hand, the ARM architecture is undergoing fairly rapid growth. ARM architecture currently used in all smartphones based on Android. A development contained in the ARM architecture is also followed by the development of hardware that is used to run the ARM architecture, so that architecture is expected to be able to work efficiently. Is the ARM architecture can be implemented to replace RISC architecture to handle tasks in autopilot to be fitted into the UAV LAPAN?. This will be attempted to be studied deeper in this paper. There are three main subject matter will be compared, the hardware capabilities, the availability of ARM-based autopilot products in the market, as well as the ease of modification of software. At the end, this paper is expected to provide a preliminary description of the ARM architecture allows or not implemented into the autopilot to be paired into LAPAN UAV, autopilot replace RISC-based architecture

Keywords: ARM, AVR, RISC, Autopilot

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia *automatic flight control* untuk *unmanned aerial vehicle* (UAV), penggunaan microcontroller untuk mendukung fungsi tersebut pada pesawat sudah jamak dilakukan. Hal ini disebabkan penggunaan microcontroller sebagai processor utama hanya membutuhkan sedikit daya, sehingga UAV yang hanya dibekali oleh baterai sebagai sumber listrik utamanya dapat terbang dengan endurance yang cukup lama. LAPAN, dalam hal ini Pustekbang, sudah sejak lama mengaplikasikan microcontroller ke dalam UAV. Salah satu set instruksi program yang digunakan di dalam microcontroller untuk *automatic flight control* adalah RISC. Berdasarkan pustaka [1],[2] dan [3], instruksi RISC memiliki 3 keunggulan utama, yakni [1] jumlah intruksi yang dapat dieksekusi dalam 1 cycle cukup banyak, [2] penggunaan memory yang lebih efisien, dalam artian jumlah memory yang

dibutuhkan untuk mengeksekusi program lebih sedikit, dimana hal ini disebabkan arsitektur RISC sudah dilengkapi dengan *load* dan *store* instruction, dan [3] semua perintah eksekusi dapat dieksekusi tanpa perlu membuat *microcoding*. Dengan adanya 3 keunggulan ini menjadikan microcontroller RISC banyak digunakan sebagai autopilot.

Berdasarkan pustaka [2], microcontroller RISC memiliki 5 jenis arsitektur utama, yakni MIPS, SPARC, PowerPC, Itanium, dan ARM. Disamping kelima arsitektur tersebut, terdapat arsitektur lain yang dinamakan dengan AVR RISC. Berdasarkan literature [3], arsitektur AVR RISC merupakan arsitektur berbasis RISC yang dikembangkan oleh perusahaan Atmel, dan dioptimasi untuk Bahasa pemrograman C. Sistem autopilot pada UAV dapat dibangun dengan menggunakan ardupilot *board*. Ardupilot *board* tersebut dapat menggunakan processor ATmega328 ataupun ATmega2560 yang memiliki arsitektur AVR RISC. Hal ini merupakan salah satu contoh penerapan arsitektur AVR RISC kedalam autopilot UAV.

Saat ini, produk Ardupilot telah banyak dimanfaatkan oleh Pustekbang LAPAN untuk menerbangkan UAV secara autonomous. Untuk arsitektur ARM RISC, jenis arsitektur yang dioptimasi untuk kebutuhan microcontroller adalah arsitektur ARMv7/6-M, yang diimplementasikan kedalam processor ARM Cortex-M. Arsitektur berbasis ARM ARMv7/6-M ini belum banyak diaplikasikan kedalam autopilot UAV, untuk itulah di dalam paper ini akan dikaji secara lebih mendalam, apakah arsitektur ARM ARMv7/6-M yang diimplementasikan kedalam processor Cortex-M ini *feasible* untuk diterapkan sebagai autopilot UAV pustekbang LAPAN, menggantikan ardupilot yang berbasis arsitektur AVR RISC. Contoh produk yang akan dibahas lebih lanjut adalah NUC140 yang merupakan produk Nuvoton, dimana produk ini menggunakan processor ARM Cortex-M0 dan mampu menjalankan arsitektur ARM V6-M sebagai perwakilan dari arsitektur ARM RISC, sedangkan untuk arsitektur AVR RISC akan menggunakan produk Ardupilot Mega v1.4a yang menggunakan processor ATmega2560 [4].

2. KOMPATIBILITAS HARDWARE

Perbandingan antara arsitektur AVR dan ARM dilakukan dengan membandingkan kompatibilitas hardware untuk kebutuhan auto pilot pada UAV. Hardware yang akan diperbandingkan adalah Ardupilot Mega v1.4a dengan processor ATmega2560 yang menggunakan arsitektur AVR RISC dan NUC140 dengan processor ARM Cortex-M0 yang menjalankan arsitektur ARM V6-M RISC. Dari segi kompatibilitas hardware, parameter yang dibandingkan adalah parameter I/O, clock speed, memory, Timer/Counter, PWM, ADC dan komunikasi antar peripheral. Perbandingan kompatibilitas hardware antara kedua perangkat tersebut dijelaskan secara lebih detail di dalam sub bab berikut ini.

2.1 Arsitektur ARM RISC

Spesifikasi umum NUC140 dapat dilihat di dalam table 2-1 berikut ini. Spesifikasi ini diambil dari literature[5].

Tabel 2-1 Spesifikasi NUC140

Parameter	Nilai
I/O	80
Clock Speed	50 MHz
Timer/Counter	32-bit
Kanal PWM	16-bit
ADC	12-bit, 700 kSPS
Memory	128 KB flash, 16 KB SRAM
Komunikasi	UART, SPI, TWI, USB 2.0, PS2, EBI,CAN 2.0
Efisiensi Energi	0.896 DMIPS/MHz
Operating current @12 MHz 5V	5.5 mA

2.1.1 Kapabilitas I/O

Perangkat NUC140 memiliki 80 pin yang secara umum dapat digunakan sebagai input atau output. Pin pada NUC140 disusun dalam 6 port, yang disebut dengan GPIOA, GPIOB, GPIOC, GIOPD,

GPIO E. Setiap pin dapat memberikan atau menerima arus maksimum 35 mA dan memiliki resistor pull-up internal (yang terputus secara default) sebesar 110 kOhms – 300 kOhms. Selain itu, perangkat NUC140 memiliki beberapa pin yang dapat digunakan untuk fungsi khusus, antara lain:

- a. Fungsi komunikasi Serial.
Perangkat NUC140 memiliki 3 channel serial yang masing-masing memiliki pin Transmit dan Receive dan juga dilengkapi dengan flow control CTS dan RTS.
- b. Fungsi *external interrupt*.
Pin yang berfungsi sebagai *external interrupt* dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada saat kondisi signal masukan memiliki nilai yang rendah, tinggi, meningkat atau menurun, atau berubah nilai.
- c. Fungsi *serial peripheral interface* (SPI).
Perangkat NUC140 memiliki 4 set SPI kontroler, pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan *library* SPI.
- d. Fungsi *two way interface* (TWI).
Perangkat NUC140 memiliki 2 set TWI / I2C kontroler, dimana pin ini dapat mendukung komunikasi berbasis TWI dengan menggunakan *library* Wire.
- e. Fungsi komunikasi USB 2.0 Full-Speed
Perangkat NUC140 memiliki satu set USB 2.0 Full speed 12Mbps dan memiliki USB transceiver terintegrasi, sehingga memungkinkan untuk berkomunikasi dengan computer melalui USB 2.0 interface.

2.1.2 Internal Memory

Konfigurasi memory pada perangkat NUC140 terdiri dari 128 KB flash memory untuk menyimpan kode, 16 KB SRAM dan 4 KB flash for ISP loader, mendukung 9 kanal PDMA untuk pengiriman data otomatis antara SRAM dan peripheral.

2.1.3 *Processor Clock Speed dan Clock Generator*

Perangkat NUC140 memiliki beberapa pilihan sumber clock, memiliki sumber clock terintegrasi 22.1184 Mhz untuk kebutuhan operasi dengan kecepatan tinggi, memiliki sumber clock terintegrasi 10KHz untuk keperluan pewaktu watchdog serta operasi wake-up. Perangkat ini juga memiliki satu PLL sampai dengan 50 Mhz, eksternal 4-24 MHz krystal masukan untuk USB dan kebutuhan operasi dengan pewaktu yang presisi. Selain itu, terdapat input eksternal sebesar 32.768 kHz yang dapat digunakan untuk masukan RTC (Real Time Clock).

2.1.4 *Timer / Counter*

Perangkat NUC140 memiliki memiliki 4 kanal Timer dengan ketelitian 32 bit dan 24 bit timer serta satu *pre scaler counter* dengan ketelitian sebesar 8 bit.

2.1.5 *PWM*

Perangkat NUC140 memiliki 4 PWM generator terintegrasi dengan ketelitian 16 bit, yang dapat memberikan output PMW sebanyak 8 buah. Setiap PMW generator dilengkapi dengan satu buah pemilih sumber clock dan satu buah pembagi clock.

2.1.6 *Analog to Digital Converter* (ADC)

Perangkat NUC140 memiliki 8 buah kanal ADC dengan ketelitian 12 bit dimana setiap kanal memiliki range pengukuran tegangan antara 0-5 volt dan kecepatan konversi mencapai 700 kSPS. Dengan ketelitian sebesar 12 bit untuk setiap kanal, DAC pada NUC140 dapat mengukur tegangan dengan lebih teliti.

2.1.7 Komunikasi Antar *Peripheral*

Perangkat NUC140 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan device lain diantaranya SPI, UART, PS2, I2S, EBI, serta USB 2.0.

2.2 Arsitektur AVR RISC

Spesifikasi umum dari ATmega2560 yang menggunakan arsitektur AVR dapat dilihat di dalam table 2 berikut ini. Spesifikasi ini diambil dari literature[6].

Tabel 2.2. Spesifikasi ATmega2560

Parameter	Nilai
I/O	86
Clock Speed	16 Mhz
Timer/Counter	8-bit dan 16-bit
Kanal PWM	8-bit / 16-bit
ADC	10-bit , 15kSPS
Memory	256 Flash, 8kb SRAM, 4 kB EEPROM
Komunikasi	UART, SPI, TWI,
Efisiensi Energi	0.19 DMIPS/MHz
Operating current @12 MHz 5V	14mA

2.2.1 Kapabilitas I/O

Perangkat ATmega2560 memiliki 86 pin yang dapat secara umum dapat berfungsi sebagai input atau output. Setiap pin memiliki diode pengaman untuk Vcc dan Ground. Setiap pin dapat memberikan atau menerima arus maksimum 40 mA dan memiliki resistor pull-up internal (yang dapat terputus secara default) sebesar 20 kOhms - 50 kOhms. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus, antara lain:

a. Fungsi antarmuka memori eksternal

Perangkat ATmega2560 memiliki port A yang dapat digunakan sebagai antarmuka memori eksternal data bit 0-7 sedangkan data bit 8-15 terdapat pada port C.

b. Fungsi komunikasi serial.

Perangkat ATmega2560 memiliki 4 channel serial yang masing-masing memiliki pin Transmit dan Receive. Fungsi serial dapat digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) data dalam level tegangan TTL.

c. Fungsi *external interruption*.

Perangkat ATmega2560 memiliki pin yang dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interupsi pada saat signal masukan dengan nilai yang rendah, tinggi, meningkat atau menurun, atau perubahan nilai.

d. Fungsi *serial peripheral interface* (SPI).

Perangkat ATmega2560 memiliki pin yang mendukung komunikasi SPI menggunakan *library* SPI. Pembagian konfigurasi pin ATmega2560 adalah pin 50 sebagai MISO, pin 51 sebagai MOSI, pin 52 sebagai SCK, serta pin 53 sebagai SS.

e. Fungsi *two way interface* (TWI).

Perangkat ATmega2560 memiliki pin yang mendukung komunikasi TWI dengan menggunakan *library* Wire.

2.2.2 Internal Memory

Konfigurasi memory pada perangkat ATmega2560 terdiri dari 256 KB flash memory untuk menyimpan kode, 8 KB SRAM dan 4 KB EEPROM. Flash memory dibagi menjadi 2 bagian, bagian boot program dan bagian aplikasi program. Flash memori memiliki ketahanan setidaknya sampai dengan 10.000 siklus baca/tulis. Data SRAM terbagi dalam Register file, I/O memori, I/O Memori tambahan, serta data SRAM internal. Memori SRAM eksternal juga dapat ditambahkan sampai dengan sebesar 64KB data. Data EEPROM tersedia secara terpisah, yang bisa diakses dengan satu kali bytes baik baca maupun tulis.

2.2.3 Processor Clock Speed dan Clock Generator

Perangkat ATmega2560 memiliki beberapa kecepatan clock antara 0-16MHz untuk tegangan input dari 4.5 V – 5.5 V. ATmega2560 memiliki internal RC Oscillator terkalibrasi 8 MHz, penggunaan oscillator bisa diatur dengan menggunakan pengaturan register clock. Tersedia juga oscillator internal 128 kHz untuk aplikasi yang memerlukan daya rendah.

2.2.4 Timer / Counter

Perangkat ATmega2560 memiliki 4 kanal Timer/counter dengan ketelitian 16 bit dan dua 8 bit timer/counter. Timer/counter 0 merupakan module timer/counter 8 bit yang memiliki dua unit output pembanding (Output Compare Unit) yang mandiri. Timer/counter 1, 3, 4 dan merupakan module timer/counter dengan ketelitian 16 bit.

2.2.5 PWM

Perangkat ATmega2560 memiliki 12 kanal PWM dengan ketelitian 16 bit.

2.2.6 Analog to Digital Converter (ADC)

Perangkat ATmega2560 memiliki 16 kanal ADC dengan ketelitian 10 bit dengan range pengukuran antara 0-Vcc ADC input. Setiap kanal memiliki akurasi absolut +/-2 LSB, memiliki kecepatan konversi ADC sampai dengan 76.9kSPS dan sampai dengan 15kSPS pada resolusi maksimal. Memiliki pilihan kanal ADC, 16 kanal single ended, 14 differential kanal dan juga memiliki 4 kanal dengan pilihan pengautan 10x dan 200x.

2.2.7 Komunikasi Antar Peripheral

Perangkat ATmega2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan device lainnya. Sebuah library Serial memungkinkan untuk berkomunikasi serial, ATmega2560 memiliki 4 jalur komunikasi serial. ATmega2560 juga mendukung komunikasi TWI dan SPI

3. KOMPATIBILITAS SOFTWARE

3.1 Arsitektur ARM RISC

Processor Cortex-M0 yang digunakan di dalam NUC140 memang dikhususkan untuk microcontroller. Berdasarkan literature [7], processor Cortex-M0 dirancang untuk menjalankan eksekusi 32 bit secara native, sehingga permasalahan limitasi performa arsitektur 8 bit dan 16 bit tidak ditemui lagi di sini. Salah satu contoh limitasi yang terjadi di dalam arsitektur 8 bit dan 16 bit adalah ukuran program dan RAM yang dapat diakses cukup terbatas, sehingga keleluasaan untuk mengembangkan program yang akan dijalankan menjadi terbatas. Dengan memanfaatkan processor Cortex-M0, RAM yang dapat diakses memiliki ukuran yang lebih besar, sehingga fleksibilitas pengembangan software menjadi lebih baik.

Berdasarkan literature [8][7], Processor Cortex-M0 dikhususkan untuk aplikasi mikrokontroler, dan biasa digunakan pada aplikasi industri ataupun embedded system yang menggunakan mikrokontroler sebagai komponen utamanya. Arsitektur ini dikembangkan pada tahun 2009 dengan Basis ARMv6, sehingga memiliki sebagian besar instruksi Thumb (16-bit). Disamping itu, arsitektur ini juga dilengkapi dengan sebagian kecil instruksi Thumb 2 (16 dan 32-bit) yang diambil dari arsitektur ARMv7-M. Dengan menggunakan kombinasi kedua instruksi ini menjadikan processor Cortex-M0 memiliki fitur sebagai berikut : [1] kemampuan mapping memory, [2] memiliki programmers model dan exception model programming style, [3] memiliki kemampuan *serial-wire debug control*, dan [4] didesain untuk aplikasi yang membutuhkan *low power consumption*.

3.2 Arsitektur AVR RISC

Arsitektur RISC standar membutuhkan ukuran file program yang lebih besar untuk menyelesaikan set instruksi yang sama jika dibandingkan dengan instruksi CISC tradisional. Di dalam instruksi AVR RISC, jumlah instruksi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan tugas cukup besar, sehingga ukuran program dapat dikurangi dan berakibat pada meningkatnya kecepatan eksekusi program. Secara umum, arsitektur AVR memiliki 32 working register, sehingga *C compiler* dapat mengoptimalkan working register yang ada dan memangkas waktu compiling. Selain itu, arsitektur AVR dikembangkan dengan melibatkan banyak ahli dari *C compiler suppliers* saat melakukan proses desain, sehingga dapat menghasilkan code 8/16 bit dengan lebih efisien. Berdasarkan literature [9], beberapa keunggulan arsitektur AVR adalah sebagai berikut: [1] kemampuan untuk melakukan self-programming untuk segala interface komunikasi, tegangan, dan frekuensi, [2] dapat menjalankan program selagi melaksanakan proses programming (read while write), dan [3] dapat melakukan control software saat melakukan programming seperti firmware updates dan parameter updates.

4. KETERSEDIAAN PRODUK

Ketersediaan produk yang memanfaatkan arsitektur AVR untuk autopilot UAV sudah banyak dipasarkan. Produk yang paling terkenal dan banyak digunakan adalah Ardupilot. Disadur dari literature [10], platform pertama ardupilot yang digunakan untuk autopilot adalah ardupilot 2009 yang menggunakan 16MHz ATmega328 microcontroller, sebuah 6-pin GPS connector untuk 1Hz EM406 modul GPS, 6 buah input analog (dengan ADC untuk setiap input) dan 6 buah digital input/outputs untuk sensor tambahan. Hingga saat ini, pengembangan APM sudah masuk ke dalam versi pengembangan APM 2.5 dan 2.6.

Sedangkan ketersediaan produk yang memanfaatkan arsitektur ARM untuk autopilot UAV masih belum banyak yang beredar di pasaran. Salah satu contoh aplikasi aplikasi ARM untuk autopilot, seperti disadur dari literature [11] adalah *Erle-brain*, yang dikembangkan oleh Erle Robotics. Produk ini menggunakan system operasi linux sebagai basis utamanya dan terdiri dari 2 komponen utama, yakni BeagleBone Black dan PixHawk Fire Cape. Kemampuan yang diunggulkan dari produk ini adalah mampu menjalankan sourcecode ardupilot secara realtime dengan menggunakan basis arsitektur ARM. Spesifikasi hardware produk ini adalah menggunakan processor Cortex-A8 @ 1 GHz, 512 MB RAM, 12 PWM outputs, dan mampu menjalankan APM 3.2-rc14.

5. ANALISA

Dari hasil penjabaran diatas, terlihat bahwa dari segi kemampuan hardware yang digunakan, arsitektur berbasis ARM memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan arsitektur berbasis AVR. Adapun perbandingannya dapat dilihat di dalam tabel berikut ini.

Tabel 5-1 Perbandingan ARM NUC140 dengan AVR ATmega2560

Parameter	ARM – NUC140	AVR - ATmega2560	Keterangan
I/O	80	86	AVR
Clock Speed	50 MHz	16 Mhz	ARM
Timer/Counter	32-bit	8-bit	ARM
Kanal PWM	16-bit	8-bit / 16-bit	ARM
ADC	12-bit, 700 kSPS	10-bit , 15kSPS	ARM
Memory	128 KB flash, 16 KB SRAM	256 Flash, 8kb SRAM, 4 kB EEPROM	AVR
Komunikasi	UART, SPI, TWI, USB 2.0, PS2, EBI	UART, SPI, TWI,	ARM
Efisiensi Energi	0.896 DMIPS/MHz	0.19 DMIPS/MHz	ARM
Operating current @ 5V	5.5 mA (@12MHz)	14mA (@8MHz)	ARM

Dari table 5-1 diatas, terlihat jelas bahwa dari 9 parameter hardware, arsitektur ARM berhasil mengungguli arsitektur AVR sebanyak 7 parameter. Dari kondisi ini dapat disimpulkan bahwa dari segi hardware, arsitektur ARM feasible untuk digunakan sebagai platform autopilot.

Dari segi performa software, sebenarnya keduanya relative seimbang karena sama – sama dioptimasi untuk digunakan dan deprogram dengan menggunakan Bahasa C dan Assembler. Factor yang menjadi pembeda utama adalah arsitektur ARM sudah mendukung eksekusi program 32 bit secara native, sedangkan arsitektur AVR yang digunakan di dalam ATmega2560 baru mendukung eksekusi program 8 bit secara native. Hal ini tentunya akan berdampak kepada performa system secara keseluruhan. Perbedaan performa keduanya diulas secara mendalam di dalam literature [12], seperti terlihat di dalam table 5-2 berikut.

Tabel 5-2 Perbandingan performa antara ARM Cortex v6-M dengan AVR

Parameter	ARM Cortex v6-M	AVR	Persentase Keunggulan ARM Terhadap AVR
Ukuran Program [b]	8000	14000	47% lebih kecil
Performa Komputasi (µs)	50000	250000	500% lebih cepat
Score CoreMark (Mark/s)	1.6	1.2	30% lebih baik

Jika dilihat dari segi harga beli, berdasarkan literature [4], harga beli hardware berbasis ARM lebih murah 44% jika dibandingkan dengan hardware berbasis AVR. Hal ini juga menjadi pertimbangan bahwa platform ARM menarik untuk digunakan sebagai platform pengganti AVR untuk melaksanakan fungsi autopilot pada UAV.

6. CONTOH IMPLEMENTASI ARSITEKTUR ARM UNTUK AUTOPILOT

Beberapa literature menunjukkan bahwa implementasi autopilot berbasis ARM telah jamak dilakukan.

6.1 Lisa-S Autopilot

Autopilot berbasis Lisa-S terdiri dari sensor dan processor yang memiliki kemampuan komputasi, mencukupi untuk menerbangkan platform yang tidak stabil, seperti multirotor untuk bergerak secara autonomus mengikuti koordinat yang telah ditentukan. Di dalam literature [13], dijelaskan bahwa ukuran dari Lisa-S hanya sebesar 20 mm X 20 mm X 5 mm, dengan berat 2.8 grams. Di dalamnya terdapat processor berbasis ARM, yakni ARM Cortex-M3 MCU yang memiliki clock speed sebesar 72 Mhz dan memiliki kemampuan perhitungan 32 bit secara native. Processor ARM Cortex-M3 MCU di dalam Lisa-S dilengkapi dengan RAM sebesar 64 Kb dan Flash ROM sebesar 512 KB. Dengan spesifikasi tersebut, terlihat jelas bahwa platform Lisa-S sangat cukup untuk menjalankan perintah autopilot. Sebagai autopilot, tentunya Lisa-S dilengkapi dengan berbagai sensor yang mendukung operasi autonomus flight tersebut. Sensor yang terdapat di dalam Lisa-S adalah Inertial Measurement Unit (IMU) yang terdiri dari gyroscope dan accelerometer 3 axis, Inverse MPU-6000. Selain itu, dilengkapi juga dengan magnetometer 3 axis dari Honeywell, HMC5883L dan sensor ketinggian, barometer (altimeter) MS5611. Experiment yang dilakukan di dalam literature [13], melengkapi Lisa-S autopilot dengan GPS waypoint navigation external, U-Blox Max-7Q dan juga SuperbitRF untuk komunikasi di frequency radio. Dari hasil flight test yang dilakukan di dalam literature [13] menunjukkan bahwa Lisa-S autopilot dapat bekerja dengan baik saat diimplementasikan ke dalam Ladybird 8.5 by 8.5 cm brushless quad rotor. Menurut literature [13], kemampuan open source dari hardware dan software yang digunakan di dalam Lisa-S merupakan keunggulan utama dari autopilot ini.

6.2 PX4 Autopilot

PX 4 autopilot merupakan autopilot berbasis arsitektur 32 bit ARM7 RISC. Autopilot ini terdiri dari 2 bagian utama, yakni *electrical and mechanical adapter board* dan *autopilot/flight management board*. Di dalam PX4 autopilot, sudah terintegrasi beberapa jenis sensor seperti gyroscope dan accelerometer 3 axis serta ultrasound sensor. Di dalam literature [14], PX4 autopilot digunakan sebagai penyedia data sensor serta sebagai modul yang dapat digunakan sebagai *on-board path planner*. Data tersebut kemudian dikirimkan melalui komunikasi serial, dan diproses oleh modul FPGA melalui MAVLink Command. Agar proses komunikasi antara modul autopilot PX4 dan FPGA Xilinx Zynq-7000 dapat berlangsung dengan baik, diperlukan sebuah protocol komunikasi internal antar modul yang dinamakan dengan *handshaking protocol*. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa komunikasi inter modul antara modul autopilot PX4 dan FPGA Xilinx Zynq-7000 dapat berlangsung dengan baik, dan untuk menjalankan algoritma control, FPGA Xilinx Zynq-7000 hanya menggunakan 5% processor load. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa kemampuan tambahan seperti *on-board image processing* dan *dynamic terrain mapping* dapat diimplementasikan ke dalam kombinasi autopilot PX4 dan FPGA Xilinx Zynq-7000 ini.

6.3 Odroid-U2

Odroid-U2 adalah sebuah development board yang diproduksi oleh Hardkernel dan menggunakan basis Samsung Exynos 4412 System-on-a-Chip (SoC) processor. Samsung Exynos 4412 merupakan microcontroller yang memiliki 4 inti pemrosesan dan berjalan dengan memanfaatkan arsitektur ARM-cortex A9 untuk *parallel computation*. Keunggulan dari processor ini adalah memiliki konsumsi energy listrik yang sangat rencah, hanya 2.2 watt dan berat board keseluruhan yang tergolong ringan, yakni 12 gram. Seperti dijabarkan di dalam literature [14], Odroid-U2 digunakan untuk menjalankan algoritma autopilot seperti VSLAM, IOF, *pose filter update* (EKF-update) dan *landing site detection*. Algoritma autopilot ini membutuhkan processor yang memiliki kemampuan komputasi cukup tinggi. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa, processor Samsung Exynos 4412 memiliki

kemampuan komputasi setara dengan Core2Duo, 2x1.86GHz CPU, sehingga mampu menjalankan algoritma tersebut dengan baik. Keunggulan utama dari implementasi Odroid-U2 untuk menjalankan algoritma autopilot tersebut adalah memiliki berat total lebih ringan hingga 96% dan konsumsi daya yang lebih rendah hingga 74% [15].

7. KESIMPULAN

Dari hasil kajian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa dari segi hardware dan kemampuan komputasi, arsitektur berbasis ARM sangat capable untuk menjalankan algoritma autopilot. Hal ini disebabkan oleh implementasi processor yang lebih powerful dan hemat daya jika dibandingkan dengan processor yang digunakan untuk menjalankan arsitektur AVR. Beberapa contoh implementasi arsitektur ARM menunjukkan bahwa arsitektur ARM mampu menjalankan algoritma autopilot yang cukup kompleks dan mampu mengintegrasikan kemampuan tambahan ke dalam UAV autopilot, seperti kemampuan navigasi independen (tanpa GPS), kemampuan pendaratan presisi, *on-board image processing* dan *dynamic terrain mapping*. Dengan segala kemampuan dan keunggulan dari arsitektur berbasis ARM ini, maka dapat dikatakan arsitektur berbasis ARM feasible untuk digunakan sebagai arsitektur utama autopilot dan layak dijadikan bahan penelitin lanjutan di Pusat Teknologi Penerbangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Disampaikan terimakasih kepada bapak Ari Sugeng selaku kepala bidang teknologi avionik dan Bapak Gunawan Setyo Prabowo selaku Kepala Pusat Teknologi Penerbangan.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) S. Heath, *Microprocessor Architectures and Systems RISC CISC and DSP*, Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd, 1991.
- 2) S. P. Dandamudi, *Guide to RISC Processors for Programmers and Engineers*, New York, USA: Springer Science+Business Media, Inc., 2005.
- 3) A. E. Bogen and V. Wollan, "AVR Enhanced RISC Microcontrollers," Trondheim, Norway.
- 4) "jDrones Store," (Online). Available: http://store.jdrones.com/ArduPilotMega_p/jdapm256cpu.htm. (Accessed 25 August 2015)
- 5) Innovative Electronics, "Overview NUC140VE3CN," Surabaya, 2014.
- 6) ATMEL, "8-bit Atmel Microcontroller with 64K/128K/256K Bytes In-System Programmable Flash," Norway, 2012.
- 7) J. Yiu, *The Definitive Guide to the ARM Cortex-M0*, Oxford, UK: Elsevier, 2011.
- 8) Innovative Technology, "Arsitektur ARM," Bandung, 2014.
- 9) ATMEL, "AVR Introduction," Norway, 2009.
- 10) V. M. Vilches, S. B. Purohit, P. Rowse, A. H. Cordero and B. Mazzolai, "Towards an Open Source Linux autopilot for drones".
- 11) Erle Robotics, "Erle Robotics: Erle-brain, a Linux brain for drones," Spain, 2015.
- 12) NXP, "Get Better Code Density than 8/16 bit MCU's NXP LPC1100 Cortex M0," 2009.
- 13) B. Remes, P. Esden-Tempski, F. van Tienen, E. Smeur, C. De Wagter and G. de Croon, "Lisa-S 2.8g autopilot for GPS-based flight of MAVs," 2014.
- 14) B. Fuller, J. Kok, N. Kelson and F. Gonzalez, "Hardware Design and Implementation of a MAVLink Interface for an FPGA-Based Autonomous UAV Flight Control System," Melbourne, 2014.
- 15) R. Brockers, M. Humenberger, S. Weiss and L. Matthies, "Towards autonomous navigation of miniature UAV," 2014.