

ANALISIS KETEPATAN FREKUENSI PEMBANGKIT CLOCK BERBASIS MIKROKONTROLER

Fredy Kurniawan

*Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto
Jl. Janti Blok R, Kompleks Lanud Adisutjipto, Yogyakarta
Telepon: (0274) 451262 Eks 110; Faksimil: (0274) 451265
e-mail: fredykurniawan@yahoo.com*

ABSTRACT

Many electronics experience require clock generator. In common, analog clock generator able to generate clock signal with 5% error, and digital clock generator can generate with 0.1% error. Microcontroller-based clock signal generator has crystal accuracy. The useful frequency range that can be generated is between 1 Hz and 1 MHz when the microcontroller operating at a 24 MHz clock frequency. A 1 MHz frequency output can be generated by execute continuously a one-cycle-instruction to complement the pin output. To generate a specific frequency below 1 MHz, the other instruction(s) such as no-operation can be inserted to delay the next instruction.

Kata kunci: pembangkit clock, mikrokontroler, galat.

PENDAHULUAN

Sebuah mikrokontroler mempunyai beberapa port keluaran. Dari port tersebut dapat dikeluarkan isyarat *clock* dengan frekuensi tertentu. Aras rendah *clock* dapat dikeluarkan dengan memberikan logika rendah pada keluaran port tersebut; dan aras tinggi *clock* dapat dikeluarkan dengan memberikan logika tinggi pada keluaran port tersebut. Frekuensi tertinggi *clock* yang dapat dikeluarkan sebuah port tergantung pada frekuensi *clock* yang diberikan kepada mikrokontroler tersebut dan pemilihan instruksi yang tepat.

PEMBANGKIT ISYARAT CLOCK

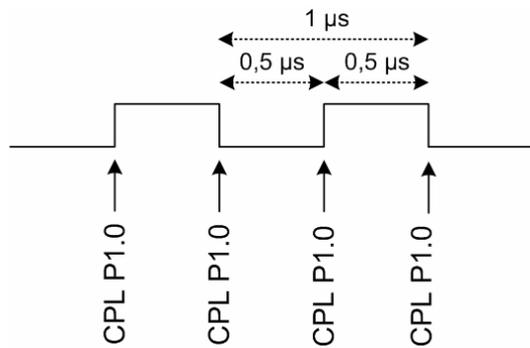
Pembangkitan isyarat *clock* dapat dilakukan minimal dengan tiga cara. Pertama, dengan mengeluarkan data logika tinggi diikuti dengan data logika rendah secara periodis. Hal ini dapat dilakukan dengan instruksi pemindahan data seperti MOV. Agar dapat diperoleh frekuensi *clock* cukup tinggi, maka dipilih instruksi yang mempunyai waktu eksekusi paling kecil yaitu satu siklus. Contoh instruksi tersebut adalah MOV P1, A (Atmel Corp., 1997). Jika suatu mikrokontroler dioperasikan dengan *clock* 24 MHz, maka dengan instruksi tersebut perubahan logika keluaran port 1 dapat dilakukan setiap 0,5 mikrodetik sekali.

Cara kedua dengan mengeset dan mereset sebuah pin port keluaran. Hal ini dapat dilakukan dengan instruksi SETB <pin_port> dan CLR <pin_port>. Cara kedua ini mempunyai kelebihan tidak terlibatnya data di memori lain. Sedangkan cara ketiga adalah dengan menegaskan logika port keluaran. Dengan menggunakan instruksi CPL <pin_port>, maka logika keluaran di suatu pin pada port keluaran dapat dinegasikan setiap satu siklus sekali atau 0,5 mikrodetik sekali.

Pembangkit Clock 1 MHz

Dengan mengoperasikan mikrokontroler pada frekuensi 24 MHz, maka satu siklus bahasa mesin yang terdiri dari enam fase dapat dieksekusi dalam waktu 0,5 mikrodetik (Atmel Corp., 2007). Dengan menggunakan instruksi CPL P1.0 berturut-turut, maka di pin 0 port 1 akan diperoleh keluaran isyarat *clock* dengan periode 1 mikrodetik atau berfrekuensi 1 MHz.

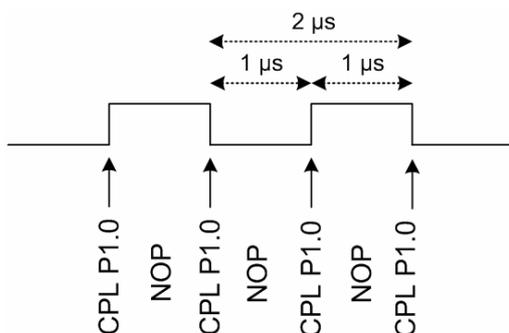
Keluaran pin 0 port 1 diharapkan berbentuk gelombang kotak dengan frekuensi 1 MHz. Namun dengan adanya efek kapasitif pada keluaran port tersebut, bentuk gelombang berbentuk keluaran mungkin tidak kotak, tapi mendekati keluaran gelombang kotak yang telah melalui untai integrator. Untuk mengembalikan bentuk tersebut ke gelombang kotak dapat digunakan gerbang dengan pemacu Schmitt, misalnya gerbang NOT dengan pemacu Schmitt 74LS14 (Tocci dan Widmer, 1998).



Gambar 1. Pembangkitan *clock* 1 MHz di port 1 pin 0.

Pembangkit *Clock* kurang dari 1 MHz

Clock dengan frekuensi kurang dari 1 MHz dapat dibentuk dengan menunda pelaksanaan instruksi CPL P1.0 berikutnya. Penundaan dapat dilakukan dengan menyisipkan instruksi untuk tidak mengerjakan apa-apa, yaitu NOP (*No operation*). Instruksi tersebut membutuhkan waktu eksekusi satu siklus. Penyisipan satu instruksi NOP di antara dua instruksi CPL P1.0 akan menunda eksekusi instruksi CPL P1.0 berikutnya selama satu siklus. Dengan mengoperasikan mikrokontroler ini pada *clock* 24 MHz, maka instruksi CPL berikutnya akan tertunda satu siklus atau 0,5 mikrodetik, sehingga selang eksekusi dua instruksi CPL adalah 1 μs.



Gambar 2. Pembangkitan frekuensi *clock* 500 kHz

Penyisipan satu instruksi NOP akan membentuk *clock* dengan periode 2 mikrodetik atau berfrekuensi 500 kHz. Penyisipan tiga instruksi NOP akan membentuk *clock* dengan frekuensi 333.333 Hz. Jumlah instruksi NOP yang dapat disisipkan dan frekuensi *clock* keluaran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah instruksi NOP yang disisipkan dan frekuensi *clock* keluaran

NOP yang disisipkan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f_{clock} (kHz)	500	333	250	200	167	143	125	111	100

Penyisipan instruksi NOP dengan jumlah melebihi 10 menjadikan listing program menjadi panjang. Untuk itu dapat digunakan listing penundaan yang menggunakan struktur perulangan, misalnya dengan instruksi DJNZ atau CJNE.

```
MOV Rn,#data
```

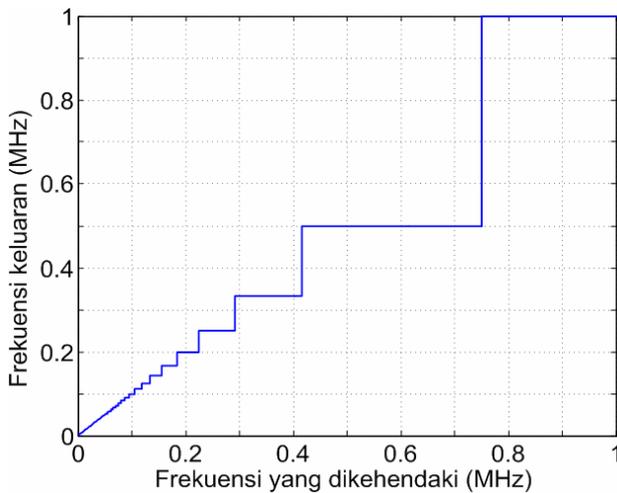
```
Ulang: DJNZ Rn,Ulang
```

Baris pertama listing di atas mempunyai waktu eksekusi 1 siklus, sedangkan baris kedua mempunyai waktu eksekusi 2 siklus. Dengan mengakurasi nilai #data dengan waktu tundaan, instruksi tundaan dengan perulangan seperti di atas dapat digunakan untuk penundaan eksekusi di atas 10 siklus.

Pembentukan *clock* dengan frekuensi yang lebih rendah dapat dilakukan dengan listing penundaan menggunakan struktur perulangan berkala atau menggunakan fasilitas pewaktu (*timer*). Sebuah pewaktu dapat menunda hingga 65 ribu siklus. Penggabungan antara pewaktu dengan struktur perulangan dapat menunda hingga 1 juta siklus dengan frekuensi keluaran 1 Hz.

Analisis Ketepatan Frekuensi *Clock*

Pada Tabel 1 terlihat beberapa frekuensi yang dapat dikeluarkan dengan jumlah sisipan NOP yang dibutuhkan. Tidak semua frekuensi dapat dikeluarkan. Frekuensi keluaran 1 MHz diperoleh dengan tidak adanya waktu tunda antara dua instruksi CPL yang berurutan. Sedangkan frekuensi keluaran 500 kHz diperoleh dengan waktu tunda satu siklus. Frekuensi antara 1 MHz dan 500 kHz tidak dapat dibangkitkan karena tidak ada satu pun instruksi yang dapat disisipkan di antara dua instruksi CPL berurutan sehingga kedua instruksi CPL tersebut tertunda selama kurang dari satu siklus. Jika dikehendaki frekuensi keluaran antara 500 kHz dan 1 MHz, maka frekuensi keluaran dapat dibulatkan ke 500 kHz atau 1 MHz. Agar menghasilkan galat terkecil, frekuensi di atas 749,9 kHz dibulatkan ke 1 MHz dan di bawah nilai tersebut dibulatkan ke 500 kHz sebagaimana Gambar 3.



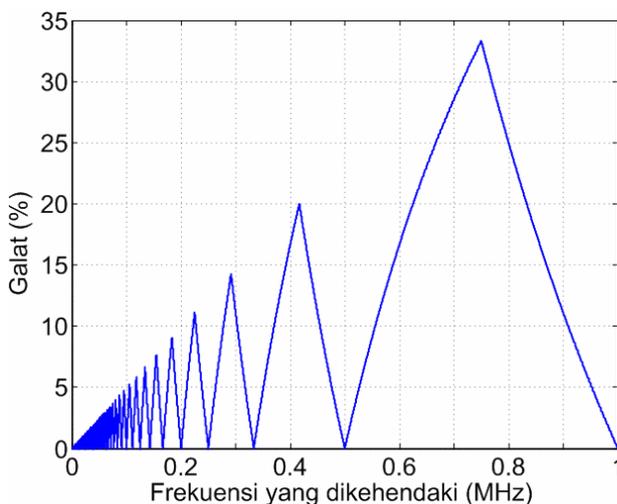
Gambar 3. Grafik frekuensi keluaran

Galat untuk frekuensi 749,9 kHz adalah

$$\text{Galat} = \frac{|749,9 \text{ kHz} - 1 \text{ MHz}|}{749,9 \text{ kHz}}$$

$$= 33,3\%$$

Galat tersebut merupakan galat tertinggi yang dapat terjadi. Galat untuk frekuensi yang lain dapat dilihat pada grafik di Gambar 4. Frekuensi yang tercantum pada Tabel 1 mempunyai galat 0%. Semakin tinggi frekuensi keluaran, semakin tinggi pula galat yang terjadi. Pembangkit frekuensi analog biasanya mempunyai galat maksimal 5%, dan pembangkit frekuensi digital biasanya mempunyai galat maksimal 0,1%.

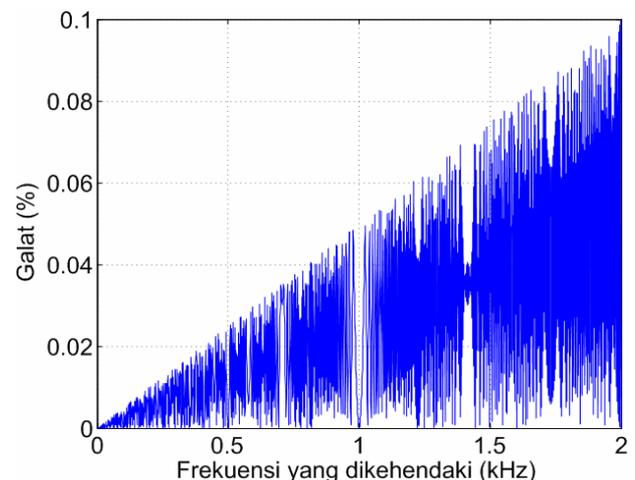


Gambar 4. Galat frekuensi clock keluaran

Dengan clock 24 MHz, mikrokontroler ini dapat mengeluarkan frekuensi dari 1 Hz hingga 1 kHz dengan galat kurang dari 0,05%, sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Sehingga pada kisaran tersebut dapat

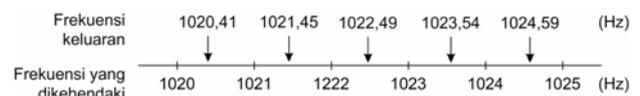
digunakan ketepatan frekuensi keluaran hingga tiga digit. Pada kisaran tersebut, semua frekuensi dapat dikeluarkan dengan galat kurang dari 0,05%.

Pada kisaran dari 1 hingga 2 kHz, galat maksimal yang terjadi masih di bawah 0,1 %. Sehingga pada kisaran ini pun dapat digunakan ketepatan frekuensi keluaran hingga tiga digit, misalnya 1010 Hz, 1020 Hz dan 1030 Hz. Penggunaan frekuensi keluaran dengan ketepatan melebihi tiga digit dapat memberikan hasil salah jika diukur dengan pencacah frekuensi (*Frequency Counter*).



Gambar 5. Galat untuk frekuensi clock keluaran 1 Hz ~ 2 kHz.

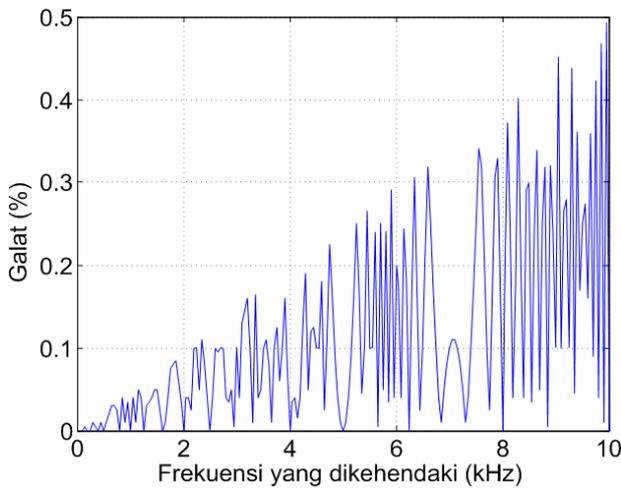
Sebagai contoh, jika digunakan ketepatan empat digit, maka terdapat beberapa frekuensi yang tidak dapat dikeluarkan. Frekuensi terendah yang tidak dapat dikeluarkan adalah 1023 Hz. Frekuensi terdekat yang akan dikeluarkan adalah 1022,49 Hz. Pada pencacah frekuensi, frekuensi tersebut dapat terdeteksi sebagai 1022 Hz (galat 0,049%) atau 1023 Hz (galat 0,053%).



Gambar 6. Frekuensi clock keluaran sekitar 1023 Hz.

Di atas 1023 Hz, terdapat semakin banyak frekuensi yang tidak dapat dikeluarkan. Beberapa frekuensi pun mempunyai galat mendekati 0,1%. Untuk itu akan lebih bijak jika di atas 1 kHz, ketelitian frekuensi keluaran dibatasi tiga digit saja. Dengan pembatasan ketepatan tiga digit, semua frekuensi dari 1 kHz hingga 2 kHz dapat dikeluarkan.

Pada kisaran frekuensi keluaran 2 kHz ke atas, galat frekuensi keluaran dapat melebihi 0,1%. Frekuensi keluaran terendah dengan galat melebihi 0,1% adalah 2064 Hz. Jika mikrokontroler ini dikehendaki untuk mengeluarkan frekuensi tersebut, maka frekuensi keluaran terdekat yang akan dibangkitkan adalah 2066,1 Hz dengan galat 0,103%.



Gambar 7. Galat untuk frekuensi clock keluaran 1 Hz ~ 10 kHz.

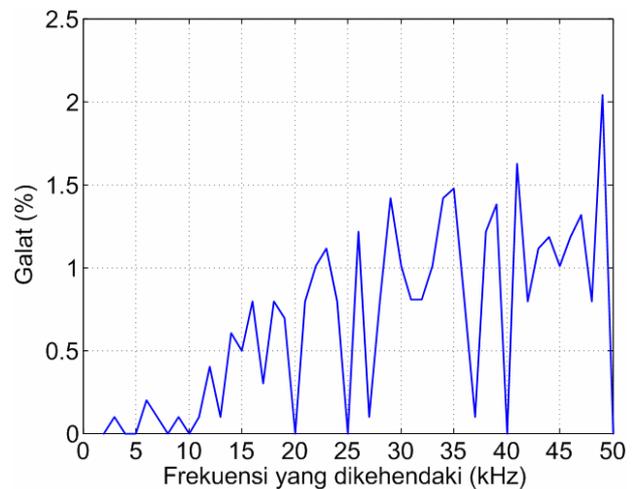
Pada kisaran frekuensi di bawah 10 kHz, galat yang terjadi masih di bawah 0,5%. Sehingga pada kisaran frekuensi dari 2 kHz hingga 10 kHz dapat diterapkan ketepatan 2,5 digit. Pada kisaran tersebut, semua nilai frekuensi dengan ketepatan hingga 2,5 digit dapat dikeluarkan. Galat terbesar untuk kisaran ini adalah 0,49% dan terjadi pada frekuensi 9.950 Hz.

Pada kisaran frekuensi keluaran 10 kHz hingga 20 kHz dapat terjadi galat hingga mendekati 1%. Sehingga pada kisaran ini sebaiknya digunakan ketepatan 2 digit. Galat terbesar untuk kisaran ini adalah 0,79%. Ini terjadi pada frekuensi yang dikehendaki 18 kHz dengan frekuensi keluaran 17,86 kHz.

Tabel 2. Galat maksimal dan digit ketepatan

Kisaran Frekuensi (Hz)	Galat maksimal	Digit Ketepatan	Dapat dikeluarkan
1~1k	0,05 %	3	Semua frekuensi
1k~2k	0,1 %	3	Semua frekuensi
2k~10k	0,5 %	2,5	Semua frekuensi
10k~20k	1 %	2	Semua frekuensi
20k~40k	1 %	2	Frekuensi tertentu

Galat yang terjadi pada frekuensi di atas 20 kHz hingga 40 kHz cukup bervariasi. Dengan membatasi galat maksimal 1,5%, masih dapat diperoleh frekuensi keluaran dengan ketepatan 1,5 digit. Galat terbesar di kisaran ini yaitu 1,48% dan terjadi pada frekuensi 35 kHz yang menghasilkan frekuensi 35,48 kHz. Namun, tidak layak jika keluaran generator frekuensi menggunakan ketepatan 1,5 digit. Akan lebih baik jika tetap digunakan ketepatan 2 digit, tapi hanya frekuensi tertentu yang dapat dikeluarkan. Frekuensi yang dapat dikeluarkan hanyalah yang mempunyai galat di bawah 1%.



Gambar 8. Galat untuk frekuensi hingga 50 kHz.

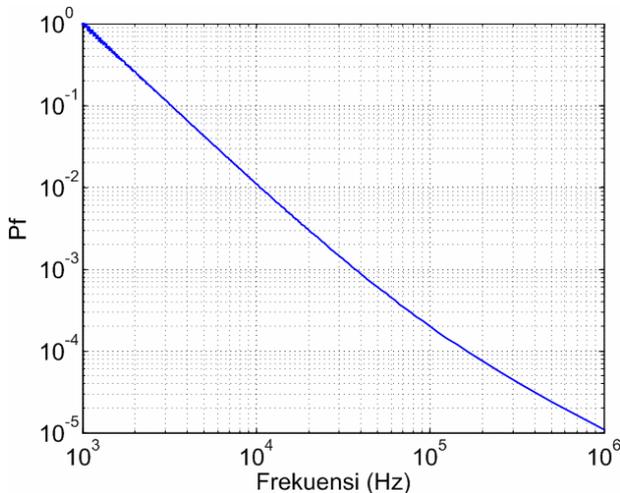
Jika galat dipertahankan di bawah 1%, semakin tinggi kisaran frekuensi maka semakin sedikit nilai frekuensi yang dapat dikeluarkan. Pada kisaran 20 kHz hingga 100 kHz, frekuensi yang dapat dikeluarkan dapat dilihat pada Tabel 3. Untuk frekuensi keluaran 100 kHz ke atas hanya ada 10 nilai frekuensi yang dapat dikeluarkan, yaitu 1 MHz dan sembilan nilai frekuensi yang ada pada Tabel 1.

Jika dikehendaki akan dikeluarkan suatu frekuensi acak, maka terdapat kemungkinan frekuensi tersebut tidak dapat dikeluarkan. Semakin tinggi frekuensi keluaran, maka semakin tinggi pula kemungkinan frekuensi tersebut tidak dapat dikeluarkan atau semakin kecil kemungkinan frekuensi tersebut dapat dikeluarkan.

Kemungkinan suatu frekuensi acak di bawah 1 kHz dapat dikeluarkan adalah 1 karena semua frekuensi di bawah 1 kHz dapat dikeluarkan. Grafik kemungkinan suatu frekuensi acak dapat dikeluarkan (Pf) untuk kisaran 1 kHz hingga 1 MHz dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 3. Frekuensi keluaran dengan galat di bawah 1% pada kisaran 20 kHz hingga 100 kHz.

Kisaran frekuensi (kHz)	Frekuensi yang dapat dikehendaki (kHz)	Frekuensi keluaran (kHz)	Galat (%)
20 < f ≤ 30	21	20,83	0,79
	24	23,81	0,79
	25	25,00	0,00
	27	27,03	0,10
	28	27,78	0,79
30 < f ≤ 40	31	31,25	0,81
	32	32,26	0,81
	36	35,71	0,79
	37	37,04	0,10
	40	40,00	0,00
40 < f ≤ 50	42	41,67	0,79
	48	47,62	0,79
	50	50,00	0,00
50 < f ≤ 60	53	52,63	0,70
	56	55,56	0,79
	59	58,82	0,30
60 < f ≤ 70	62	62,50	0,81
	63	62,50	0,79
	67	66,67	0,50
	71	71,43	0,60
70 < f ≤ 80	72	71,43	0,79
	77	76,92	0,10
	83	83,33	0,40
80 < f ≤ 90	84	83,33	0,79
	91	90,91	0,10
90 < f ≤ 100	100	100,00	0,00



Gambar 9. Kemungkinan suatu frekuensi dapat dikeluarkan

KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dikemukakan di muka dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Mikrokontroler dapat digunakan sebagai pembangkit *clock* hingga frekuensi 2 kHz dengan ketepatan 3 digit dan galat kurang dari 0,1%.
2. Mikrokontroler ini masih layak pula digunakan sebagai pembangkit *clock* pada kisaran frekuensi audio yaitu hingga 20 kHz dengan ketepatan 2 digit dan galat maksimal 1%.
3. Untuk kisaran 20 kHz hingga 1 MHz, frekuensi keluaran dengan galat 1% masih dapat dikeluarkan namun untuk nilai-nilai tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmel Corporation. (1997). *Microcontroller Instruction Set*, Atmel Corporation, San Jose, USA.
- Atmel Corporation. (2007). *Atmel 8051 Microcontrollers Hardware Manual*, Atmel Corporation, San Jose, U.S.A.
- The Controller Continuum Family. (2008). *Microcontroller-Based Sine Wave Generator Has Crystal Accuracy*, Penton Media Inc.
- Tocci, R.J. dan Widmer, N.S. (1998). *Digital Systems*, 7th edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, U.S.A.