

DIGITAL IMAGE WATERMARKING (DIW) MENGUNAKAN WAVELET TRANSFORM DOMAIN

Yoiceta Vanda¹, Setyawan Ary Cahyono²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektronika, Akademi Teknologi AUB Surakarta
email: yoiceta@yahoo.com ; setyawanaryc@yahoo.com

ABSTRACT

Digital Image has its advantages can be duplicated easily. Need to add information embedded on digital image as a mark of Multimedia Intellectual Property Rights. Technology to embedded mark into images called Digital Image Watermarking (DIW).

This research aimed to : created software Digital Image Watermarking (DIW) in Wavelet Transform Domain, that can be applied by the public.

The methods for this research are :1. Study Literature, 2. Sampling method, distributed some questionnaire to public, and then from the result, we can take the sample for preliminary data, so the conclusion about Digital Image Watermarking (DIW) can be obtained, 3. create the Digital Image Watermarking (DIW) software. DIW given an attack geometric transformation: scaling, cropping, translation, rotation, compression, and median filter.

The result of this research is Digital Image Watermarking (DIW) in the wavelet transform domain, with spread spectrum mark robust to geometric transformation: scaling, cropping, translation, rotation, compression, and median filter. The conclusion is Digital Image Watermarking (DIW) in the Wavelet Transform Domain as the technology of Multimedia Intellectual Property Rights robust to geometric transformation.

Keywords: digital image watermarking, wavelet transform domain, multimedia intellectual property right, geometric transformation.

PENDAHULUAN

Dalam bentuk digital, penyebaran karena pengkopian sangat sulit dihentikan ataupun dibawa ke pengadilan, karena hasil kopian tersebut sama persis dengan yang asli. Untuk itu diperlukan teknik tertentu untuk menjaga hak cipta sebagai *'intellectual property'* pada keaslian atau keotentikan berkas data dan penyebaran secara ilegal tersebut dapat dilacak.

Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan suatu teknik lainnya agar data dapat dilacak asal – usulnya, yang dikenal dengan teknik pengamanan *Watermarking*. Tujuan teknik *watermarking* adalah untuk proteksi *copyright* dengan menambahkan *'mark'*, yang umumnya berguna untuk mengidentifikasi

pemilik yang sah. *Mark* dapat berupa nomor register (seperti UPC: *Universal Producer Number*) yang dijumpai dalam CD, pesan teks, atau gambar berupa logo [1]. Sedangkan data yang hendak diberi *watermark* umumnya berupa citra.

Digital Image Watermarking

Ide pokok dari *Digital Image Watermarking* (DIW) [2,3] adalah untuk menggabungkan sinyal tertentu ke dalam citra induk di mana sinyal tersebut tidak dapat dilihat dan aman. Dimungkinkan untuk mendapatkan kembali sinyal tersebut jika dan hanya jika kunci rahasia yang digunakan dalam proses penyisipan diketahui. Secara analogi sama seperti *watermark* kertas yang digunakan dalam uang

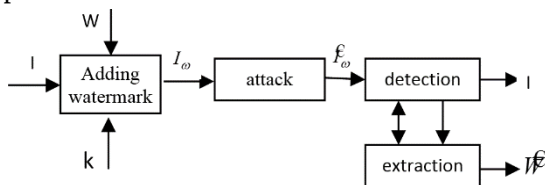
kertas dan *Digital Image Watermarking* terinspirasi dari hal tersebut, dalam aplikasinya untuk melindungi citra digital.

Dengan tujuan agar bermanfaat dan efektif, sistem *watermarking* haruslah mempunyai sifat sebagai berikut [4]:

- *Invisible* (tidak terlihat), tidak dapat diamati dengan indera manusia atau tidak harus merubah karakteristik citra asli.
- *Robust* (ketahanan), *watermark* harus lebih sulit dihilangkan walaupun dengan operasi sinyal yang paling sederhana (seperti filter median dan filter adaptif) dan distorsi geometris (seperti rotasi, pemotongan, dan penskalaan).
- *Unambiguous*, dapat mengidentifikasi pemilik.

Model Sistem Watermarking Secara Umum

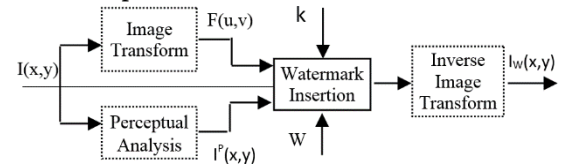
W sebagai *watermark* yang disisipkan dalam I menggunakan kunci khusus k dan I_w sebagai citra *watermarked* yang mengandung *watermark* [5,6]. Citra *watermarked* setelah mendapatkan serangan kita lambangkan dengan $\hat{I}_w$. Ini merupakan tujuan dari proses ekstraksi dengan menambahkan *watermark* dalam W dari I_w atau $\hat{I}_w$. Hal ini dimungkinkan dilakukan dengan tujuan ada atau tidaknya *watermark* dalam menganalisa citra. Hal ini dilakukan dalam proses deteksi.



Gambar 1. Model Watermarking secara umum

Proses penyisipan *watermarking* [7,8] ditunjukkan dalam gambar 2 Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa *watermark* dapat disisipkan melalui domain *spatial* ataupun domain frekuensi dari sebuah citra. Kita juga dapat menyisipkan *watermark* dalam komponen

yang signifikan dari citra untuk menambahkan kekuatan pada *watermark*.



Gambar 2. Proses Penyisipan Watermark

Gambar di atas menunjukkan garis tidak putus-putus yang menunjukkan proses penyisipan *watermark*. Garis putus – putus menunjukkan operasi pilihan. Yaitu model – model secara umum yang dapat disisipi *watermark* baik dalam domain frekuensi ataupun domain *spatial*. Analisis *perceptual* dipilih, dan metode yang digunakan untuk penyisipan *watermark* biasanya mudah, dan penelitian dilakukan untuk menutupi kekurangan dari penglihatan manusia.

Transformasi Wavelet

Wavelet merupakan gelombang mini (*small wave*) yang mempunyai kemampuan mengelompokkan energi citra terkonsentrasi pada sekelompok kecil koefisien, sedangkan kelompok koefisien lainnya hanya mengandung sedikit energi yang dapat dihilangkan tanpa mengurangi nilai informasinya [9].

Wavelet yang asli disebut sebagai induk *wavelet*.

$$\Psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (1)$$

Di mana:

a = parameter dilasi

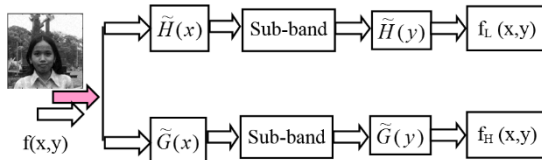
b = parameter translasi

$\frac{1}{\sqrt{a}}$ = normalisasi energi yang sama dengan energi induk

Wavelet induk **di-dilasi** (*diskalakan*) dan **ditranslasikan** (*digeser*), melalui pemisahan menurut frekuensi menjadi sub-sub bagian.

Untuk mendapatkan sinyal kembali dilakukan rekonstruksi *wavelet*.

Misalkan suatu citra dibagi menjadi komponen frekuensi rendah dan frekuensi tinggi, dengan menggunakan filter *Daubechies*.



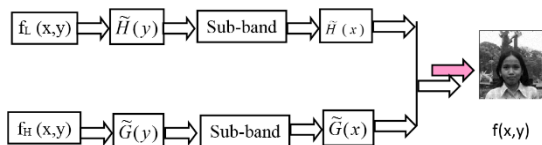
Gambar 3. Blok Diagram pemecahan frekuensi

Untuk:

G, G = filter tapis bawah (low)

H, H = filter tapis atas (high)

Sub-band = desimilasi dan interpolasi



Gambar 4. Blok diagram rekonstruksi frekuensi

Serangan Dalam Watermarking

Serangan atau gangguan dalam teknik *watermarking* [10,11] adalah segala upaya yang dilakukan untuk menghilangkan data *mark*. Setelah data *mark* dapat dihilangkan, selanjutnya dapat mengkopir citra tersebut dan mendistribusikannya. Serangan umum dalam teknik *watermarking* yaitu transformasi geometris (penskalaan, rotasi, pemotongan, dan kompresi).

1. Penskalaan

Penskalaan sumbu dalam kawasan *spatial* menyebabkan kebalikan penskalaan dalam kawasan *wavelet*, yaitu untuk dua skalar a dan b , dinyatakan sebagai berikut:

$$I(ax, by) \leftrightarrow \frac{1}{|ab|} F\left(\frac{u}{a}, \frac{v}{b}\right) \quad (2)$$

Dalam Matlab untuk penskalaan, digunakan fungsi *imresize*. Fungsi *imresize* digunakan untuk

mengubah ukuran citra dengan menggunakan metode interpolasi.

2. Rotasi

Bila pasangan SWT dan ISWT dipresentasikan dalam koordinat polar [Licks, 1999] sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x &= r \cos \theta, y = r \sin \theta \\ u &= w \cos \phi, v = w \sin \phi \end{aligned} \quad (3)$$

maka bentuk notasi $I(x,y)$ dan $F(u,v)$ menjadi $I(r,\theta)$ dan $F(W,\phi)$. Rotasi citra dengan sudut θ_0 menyebabkan *watermarking* berotasi dengan sudut sama, yaitu:

$$I(r, \theta + \theta_0) \leftrightarrow F(w, \phi + \theta_0) \quad (4)$$

Matlab menggunakan fungsi *imrotate* untuk memutar citra dengan menggunakan metode *nearest neighbor interpolation*.

3. Pemotongan

Bila $F(u,v)$ dan $I(x,y)$ merupakan fungsi periodis dengan periode N , maka terdapat relasi sebagai berikut:

$$F(u,v) = F(u+N, v+N) \quad (5.a)$$

$$I(x,y) = I(x+N, y+N) \quad (5.b)$$

Lebih lanjut dalam kesimetrisan konjugasi, diperlihatkan bahwa $|F(u,v)| = |F(-u,-v)|$, sehingga untuk pemotongan berlaku hubungan:

$$I(x-N, y-N) \leftrightarrow F(u-N, v-N) \quad (6)$$

Matlab menggunakan fungsi *imcrop* untuk mengekstraksi bagian kotak dari suatu citra. Penentuan kotak dilakukan lewat masukan *input* atau memilih dengan *mouse*.

4. Kompresi JPEG

Kompresi [12,13] dalam citra JPEG dilakukan dengan cara membagi citra ke dalam blok-blok dengan luas 8×8 atau 16×16 . Selanjutnya DCT (*discrete cosine transform*) dua-dimensi untuk menghitung tiap blok tersebut. Koefisien DCT yang dihasilkan, selanjutnya dikuantisasi, dikode, dan ditransmisikan. Di JPEG, *receiver* atau *file JPEG reader*, mengkode koefisien kuantisasi DCT,

menghitung *invers* DCT tiap blok, dan meletakkan blok-blok untuk membentuk citra baru. Untuk citra yang bernilai mendekati nol, nilainya dapat dihilangkan.

Dari kenyataan tersebut, kompresi dapat dianalogikan dengan proses penskalaan. Untuk alihragam *wavelet*, berlaku hubungan:

$$I(a_m x_i, b_n y_j) \leftrightarrow \frac{1}{|a_m b_n|} F\left(\frac{u_i}{a_m}, \frac{v_j}{b_n}\right) \quad (7)$$

METODOLOGI

Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan adalah citra asli: *kiddy2.jpeg*, *ary71.jpeg*, *kid3.jpeg*, *kidir2.jpeg*, *kidin3.jpeg*, *kidjem2.jpeg*. Citra – citra tersebut diperoleh dari hasil pengambilan dengan kamera digital, yang kemudian dipotong – potong menjadi 256 x 256 piksel.

Alat Penelitian

Alat penelitian yang digunakan adalah perangkat keras komputer dengan spesifikasi *Processor Intel Celeron* 233 MHz, RAM 128 MB, *Hardisk* 40 GB, dan adapter VGA dengan resolusi warna 24-bit. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Matlab* 6.5 dan *Adobe Photoshop* 6.0.

Metode Penelitian

Terhadap citra hasil proses *watermarking* akan diterapkan penilaian kuantitatif dan penilaian secara kualitatif (subyektif). Penilaian secara kuantitatif berdasar pada statistika citra, dan penilaian kualitatif didasarkan pada persepsi mata manusia atas citra. Kedua hasil penilaian akan didampingkan dengan metode komparatif.

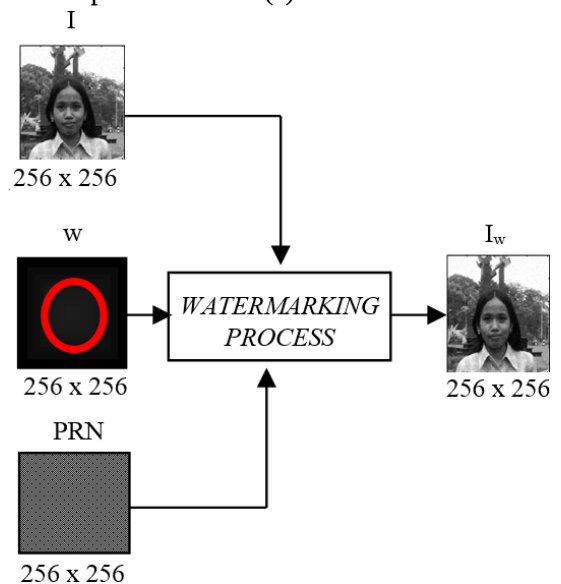
Proses Penelitian

Beberapa citra yang dihasilkan dari proses *editing Adobe Photoshop* diubah nilai *map*-nya dari citra warna ke citra *grayscale*, menggunakan program *Matlab* dengan memberikan nilai RGB

sebagai berikut: $R(\text{red})=0,2290$, $G(\text{green})=0,5870$, dan $B(\text{blue})=0,1140$.

Citra *grayscale* dalam *Matlab* dengan bentuk nilai matriks. Citra dengan ukuran 256 x 256 piksel adalah bentuk matriks dengan ukuran 256 baris x 256 kolom. Sedangkan data teks berupa kumpulan huruf karakter dari a hingga z, 0 – 9, dan beberapa bentuk tanda baca yang umum digunakan serta spasi. Karakter yang dipilih selanjutnya diubah dalam untaian huruf biner 0 dan 1, dengan pengkodean satu karakter digantikan oleh 6 bit.

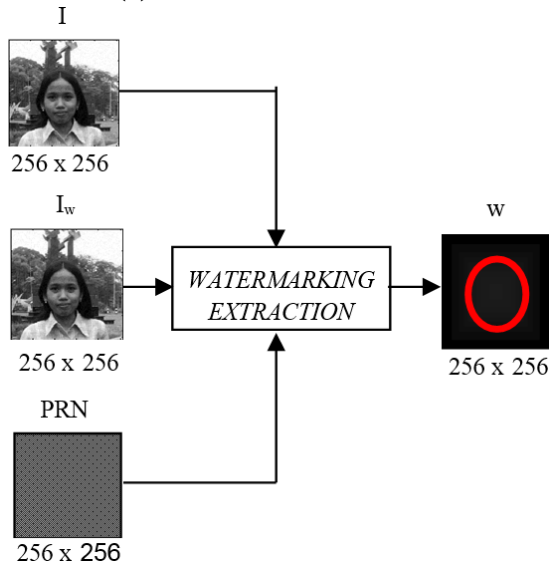
Citra asli diurai dengan *wavelet transform* yang menghasilkan nilai aproksimasi dan 3 detail (vertikal, horizontal, dan diagonal). Selanjutnya dalam *wavelet transform* ini disisipkan data *mark* dan data pengaman, inilah sesungguhnya yang dinamakan proses *watermarking* seperti yang terlihat pada Gambar 5(a).



Gambar 5.(a) Proses Watermarking

Setelah bergabung menjadi satu, kemudian disimpan untuk dijadikan sebagai hasil akhir *watermarking*. Dihitung nilai korelasi antara citra asli dengan citra *watermarking*. Bila perubahan yang terjadi tidak begitu kelihatan pada penampilannya, maka dikatakan proses

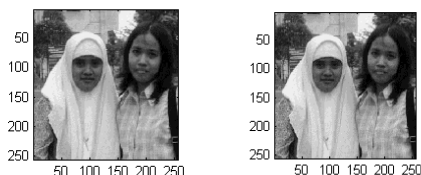
watermarking berhasil dilakukan. Setelah penggabungan ini berhasil dilakukan, selanjutnya dilakukan proses kebalikan dengan mengurai kembali gambar yang disisipkan dalam citra watermarking untuk memperoleh kembali data mark yang disisipkan, yang terlihat pada Gambar 5(b).



Gambar 5(b). Pengurai Watermarking

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menentukan bentuk data mark yang akan dibuat, maka kita harus menentukan nilai R yaitu nilai radian yang harus dicari agar data mark sesuai dengan yang diinginkan. Kemudian dicari nilai konstanta penguat (*Alpha*), digunakan untuk memperbaiki bentuk tampilan data mark, dan jumlah maksimal karakter yang dapat dituliskan.



Gambar 7. (a). Original Image
(b). Watermarking Image

Dari beberapa percobaan yang dilakukan, diperoleh nilai R yang tepat ada di sekitar nilai 100, nilai alpha yang tepat yaitu 12000, dan jumlah karakter yang dapat dituliskan adalah 32. Kemudian data mark yang sudah dibuat disisipkan ke dalam citra asli.

Tabel 1. Nilai korelasi citra asli dengan citra watermarking dalam menentukan derajat dekomposisi SWT

De-komp.	Re-kons.	Corr W	Corr M	SNR W	PSNR W	SNR M	PSNR M
1	1	0.9418	0.7324	8.8493	57.0141	-3.2011	44.5698
3	3	0.9903	0.6726	18.3205	66.4865	-3.1590	45.0035
5	5	0.9961	0.9778	22.7305	70.1236	-3.3561	45.6321
7	7	0.9982	0.9766	25.6346	73.1458	-3.1256	44.5689
9	9	0.9989	0.9751	27.8085	75.1236	-3.1478	44.4561
11	11	0.9992	0.9737	29.2356	77.1235	-3.5698	44.9652
13	13	0.9994	0.9701	30.2589	79.1041	-3.1234	45.1236
15	15	0.9996	0.9691	32.0147	80.2369	-3.2345	44.4789
17	17	0.9997	0.9648	33.2156	81.2356	-3.5694	44.4569
19	19	0.9998	0.9632	67.0258	82.0145	-3.1258	44.9400
20	20	0.9998	0.9588	34.1236	82.0148	-3.4569	45.6321
21	21	0.9998	0.9581	34.0189	83.1258	-3.1245	44.7890
23	23	0.9998	0.9853	36.1258	84.1270	-3.2258	44.1258
24	24	0.9999	0.9507	36.9986	84.6952	-3.1698	44.7769
26	26	0.9998	0.9497	37.5556	86.2356	-3.1478	44.9631
27	27	0.9999	0.9504	37.1546	86.1245	-3.5894	44.6821
29	29	0.9999	0.9467	38.3692	86.1478	-3.6698	77.1456
30	30	0.9998	0.9417	38.1254	86.1124	-2.7895	45.1236
35	35	0.9999	0.9349	36.1112	86.1254	-2.5681	45.7891
40	40	0.9999	0.9188	16.4729	87.1258	-3.1479	45.3125

Serangan yang dilakukan dalam teknik *watermarking* adalah serangan terhadap transformasi geometris (penskalaan, rotasi, dan pemotongan), dan proses pemfilteran.

1. Penskalaan

Tabel 2. Nilai korelasi, SNR, dan PSNR dalam proses penskalaan

skala	corr W	corr M	SNR W	PSNR W	SNR M	PSNR M
300	0.9999	0.9393	12,105	61,647	2,921	52,468
400	0.9999	0.9378	12,101	64,123	2,889	54,930
500	0.9999	0.9387	12,102	66,081	2,886	56,864
600	0.9999	0.9393	12,103	67,664	2,891	58,453
700	0.9999	0.9384	12,104	69,006	2,913	59,815
800	0.9999	0.9389	12,102	70,154	2,892	60,954
900	0.9999	0.9383	12,103	71,187	2,901	61,986
1000	0.9999	0.9387	12,103	72,103	2,903	62,903

2. Cropping

Tabel 3. Nilai korelasi, SNR, PSNR dalam proses Cropping

Crop	Corr W	Corr D	SNR W	PSNR W	SNR D	PSNR D
800	0.9998	0.9405	12,104	70,166	0,7630	58,842
700	0.9998	0.9409	12,129	69,301	0,9401	57,841
600	0.9997	0.9399	12,143	67,706	1,739	57,302
500	0.9996	0.9396	12,097	66,076	0,066	53,913
400	0.9996	0.9301	12,387	64,428	8,729	60,770
300	0.9997	0.9036	12,421	61,963	9,928	59,525
256	0.9992	0.9083	12,211	60,384	3,392	51,557
200	0.9996	0.9092	12,393	58,414	9,219	55,240
100	0.9999	0.3677	12,386	52,381	9,095	49,095

KESIMPULAN

1. *Digital Image Watermarking* (DIW) dengan memanfaatkan keuntungan dari transformasi *wavelet*, menghasilkan suatu teknik *watermarking* yang paling baik dengan nilai korelasi mendekati 1 (0.9999) adalah pada saat nilai dekomposisi 26 menggunakan SWT2 (*Stationary Wavelet Transform* 2).

2. Pada proses penskalaan, menyebabkan penurunan kualitas citra *watermarking* saat citra diubah ke bentuk yang lebih besar, juga saat citra diubah ke bentuk yang lebih kecil. Meskipun penurunan kualitas tidak begitu signifikan, jadi bisa dianggap teknik *watermarking* dalam transformasi *wavelet* ini, tahan terhadap serangan penskalaan.
3. Secara umum proses rotasi tidak menyebabkan perubahan kualitas citra *watermarking*, justru terjadi perubahan kualitas pada *watermark* dengan batas sudut 180°. Jadi dapat dikatakan bahwa teknik *watermarking* dalam transformasi *wavelet* ini, tahan terhadap serangan rotasi.
4. Dalam proses pemotongan terjadi penurunan kualitas citra *watermarking*. Dalam proses pemotongan ini, data *mark* yang disisipkan akan terpotong dan hasil dari ekstraksi *mark* hanya ada beberapa karakter saja, tergantung dari besar pemotongan. Hal ini bisa diatasi dengan cara menyisipkan *watermark* yang sedikit jumlah karakternya. Bisa dikatakan teknik *watermarking* yang dibuat dalam kawasan *wavelet* ini, tahan terhadap serangan pemotongan.
5. Citra *watermarking* yang dikenai proses filter median ini, akan mengalami penurunan kualitas saat menggunakan blok [5 5] dan seterusnya, seiring dengan meningkatnya besar blok. *Watermark* yang disisipkan akan semakin hilang karakternya satu per satu. Hal ini dapat diatasi dengan memberikan panjang karakter tidak lebih dari 13 karakter.
6. Untuk filter Adaptif, dengan besar blok [2 2] citra *watermarking* memiliki bentuk yang sama dengan citra asli. Sehingga dapat dikatakan bahwa penyembunyian *watermark* dalam kawasan *wavelet* tahan terhadap serangan filter adaptif, tapi citra hasil *watermarking* akan mempunyai kualitas yang semakin menurun dengan meningkatnya besar blok yang digunakan. Tapi *watermark*

yang disisipkan tidak terpengaruh dengan peningkatan besar blok.

7. Proses *kompresi* menyebabkan penurunan kualitas *watermark*, tapi untuk kualitas citra *watermarking* tidak begitu terlihat hingga nilai *quality* 10. Bisa dikatakan teknik *watermarking* yang dibuat dalam kawasan *wavelet* ini, tahan terhadap serangan *kompresi*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anderson, R.J. and F.A.P. Petitcolas, "Information Hiding – An Annotated Bibliography", in <http://www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/steganography/bibliography>.
- [2] Boland, F.M, J.J.K. ÓRuanaidh and W.J. Dowling, "Watermarking digital images for copyright protection", IEE Proceedings on Vision, Signal and Image Processing, 143, 4, pp. 250-256, August 1996.
- [3] Bruyndonckx, O, J.J. Quisquater, and B. Macq, "Spatial method for copyright labeling of digital images", In Proc. IEEE Workshop Nonlinear Signal and Image Processing, Halkidiki, Greece, June 1995.
- [4] Cox, I, J. Kilian, T. Leighton and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", Technical Report 95-10, NEC Research Institute.
- [5] Hartono, 2000, 'Cap Air Digital Sebagai Tanda Pengenal Citra Digital', Tugas Akhir Teknik Elektro UGM.
- [6] Hartung, F. and M. Kutter, "Multimedia Watermarking Techniques", In Proc. IEEE, vol 97, No. 7, July 1999, pp. 1079-1107.
- [7] Heileman, G.L, C.E. Pizano and C.T. Abdallah, "Image Watermarking for Copyright Protection", In Lecture Notes in Computer Science 1619, Algorithm Engineering and Experimentation: International Workshop ALENEX'99, Springer-Verlag, Berlin, pp. 226-245, 1999.
- [8] Koch, E. and J. Zhao, "Toward robust and hidden image copyright labeling", in Proc. Workshop Nonlinear Signal and Image Processing, Greece, June 1995.
- [9] Kusban, Muhammad, 2002, 'Digital Watermarking Dalam Kawasan Alihragam Wavelet', Tesis Prodi Elektro UGM.
- [10] Kutter, M. and F.A.P. Petitcolas, "A fair benchmark for image watermarking systems", Electronic Imaging '99 – Security and Watermarking of Multimedia Contents, vol. 3657, January 1999, San Jose, United States.
- [11] Kutter, M. "Watermarking resisting to translation, rotation and scaling", in <http://ltssg3.epfl.ch:1248/kutter/watermarking/#publications>.
- [12] Licks, Vinicius, 1999. 'On Digital watermarking robust to geometric transformations', thesis, B.S., Control Enginnering, Pontificia Universidade Catoloic, Brasil.
- [13] Meerwald, Peter, 2001. 'Digital Image watermarking in the wavelet transform domain', diplomarbeit, zur Erlangung des Diplomgrades an der Naturwissenschaftlichen Fakultas Salzburg.
- [14] Pereira, S, J.J.K.O. Ruanaidh, T. Pun, "Secure Robust Digital Watermarking Using the Lapped Orthogonal Transform".
- [15] Petitcolas, F.A.P, R.J. Anderson and M.G. Kuhn, "Information Hiding – A Survey", in Proc. IEEE, vol. 87, No. 7, July 1999, pp. 1062-1078.
- [16] Pickholtz, R.L, D.L. Schilling and L.B. Milstein, "Theory of Spread-Spectrum Communications – A Tutorial", In IEEE Trans. Comm., vol. COM-30, no. 5.
- [17] Ruanaidh, J.J.K.O. and T. Pun, "Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking", Signal Processing, vol. 66, no.3, pp. 303-318, May 1998.
- [18] Ruanaidh, J.J.K.O. and T. Pun "Rotation, Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking", IEEE International Conference on Image Processing, pp. 536-539, Santa Barbara, October 1997.
- [19] Ruanaidh, J. æ, W.J. Dowling and F.M. Boland "Phase watermarking of digital images", In Proceedings of ICIP'96, vol. III, pp. 239-242, Lausanne, Switzerland, September 1996.
- [20] Smith, J. and B. Comiskey, "Modulation and information hiding in images", in Proc. First International Workshop on Information Hiding, Lecture Notes on Computer Science, Cambridge, UK, pp. 207-226, June 1996.

- [21] Solachidis, V. and I. Pitas, “*Circularly symmetric watermark embedding in 2-D DFT domain*”, IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP’99), Phoenix, vol. 6, pp. 3469 -3472__1999.
- [22] Tirkel, A, G. Rankin, R. van Schyndel, W. Ho, N. Mee, and C. Osborne, “*Electronic water mark*”, in Proc. DICTA 1993, Dec. 1993, pp. 666-672.
- [23] Voyatzis, G. and I. Pitas, “*The Use of Watermarks in the Protection of Digital Multimedia Products*”, in Proc. IEEE, vol. 87, no. 7, pp. 1197-1207, July 1999.